Manuale specialistico perl'allineamento di macchine

Questo manuale curato da PRÜFTECHNIK è stato realizzato al meglio delle possibilità, con particolare attenzione alla chiarezza dei dettagli e delle procedure tecniche. Tuttavia, questa pubblicazione non è concepita per rappresentare una guida completa all'allineamento delle macchine di processo, né può sostituire i consigli e le procedure raccomandate dai costruttori delle macchine. Le informazioni qui fornite hanno uno scopo puramente consultativo; pertanto PRÜFTECHNIK AG, le sue filiali e le sue consociate declinano ogni responsabilità per danni diretti e/o indiretti causati dall'uso o applicazione delle informazioni contenute in questo manuale.

N. d'ordine ALI 9.600 I
Edizione Gennaio 2005

Lo scopo di questo manuale è fornire informazioni di base e linee guida per l'implementazione dell' allineamento alberi di macchine rotanti.

L'allineamento laser, il bilanciamento dinamico e il condition monitoring sono componenti essenziali di una valida strategia manutentiva per le macchine rotanti. Prese a livello singolo, ognuna di queste strategie contribuisce a ridurre il rischio di malfunzionamenti imprevisti, ma prese insieme costituiscono il perno di una strategia di manutenzione proattiva che non solo porterà a identificare i problemi in fase iniziale, ma amplierà in modo considerevole la durata operativa delle macchine.

In questo manuale abbiamo fornito uno o due esempi dei possibili metodi di misurazione. Questo però non significa che i metodi qui riportati siano gli unici disponibili: esiste un'ampia serie di pubblicazioni a riguardo e il lettore che vuole approfondire l'argomento è caldamente invitato a consultarle.

PRÜFTECHNIK opera con i suoi specialisti nel campo del monitoraggio e allineamento delle macchine rotanti da più di trent'anni. In questo periodo abbiamo accumulato una notevole esperienza pratica, producendo tra l'altro numerosi manuali riguardo singoli argomenti e sistemi. Questo manuale concentra tutta la nostra esperienza e presenta in ogni capitolo una breve panoramica degli ultimi sistemi sviluppati da PRÜFTECHNIK per le specifiche applicazioni descritte.

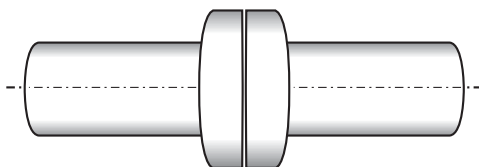
Ci auguriamo che queste informazioni risultino chiare e leggibili, e che forniscano ai lettori meno esperti la base necessaria per favorire l'applicazione di successo di una proficua pratica manutentiva nel loro impianto.

PRÜFTECHNIK desidera ringraziare i colleghi della PRÜFTECHNIK AG (Germania), PRÜFTECHNIK Ltd. (Gran Bretagna), e i nostri associati di Ludeca Inc. (USA) per l'autorizzazione a riprodurre in questo manuale alcuni dei loro grafici. Inoltre, questo manuale è stato scritto basandosi sulle informazioni contenute in precedenti pubblicazioni PRÜFTECHNIK, in particolar modo per quanto riguarda i dati sugli standard d'allineamento.

Per queste informazioni esprimiamo la nostra stima e gratitudine.

Allineamento alberi

Definizione

L’allineamento alberi è il processo che permette di far coincidere gli assi di rotazione degli alberi di due o più macchine rotanti (in genere un gruppo pompa-motore) al punto d’accoppiamento, o piano di trasferimento del moto, nelle normali condizioni di esercizio delle macchine accoppiate.

Come accade con tutte le definizioni standard, esistono delle eccezioni. Alcuni tipi di giunto, per esempio i giunti a denti o i giunti cardanici, richiedono un disallineamento specifico per assicurare una corretta lubrificazione durante il funzionamento.

La definizione sopra fornita contiene alcuni elementi da approfondire, e precisamente:

Al punto d’accoppiamento (o piano di trasferimento del moto)

Tutti gli alberi presentano qualche forma di curvatura generata dal proprio peso e quindi gli alberi non sono diritti. Di conseguenza, l’unico punto in cui è possibile misurare l’allineamento di due alberi è al punto d’accoppiamento tra un albero e l’altro.

Assi di rotazione

Non bisogna confondere l’allineamento alberi con l’allineamento del giunto.

I piani di accoppiamento del giunto non devono essere usati per misurare l’allineamento, perché non rappresentano l’asse di rotazione degli alberi. Per risparmiare sui costi di produzione, capita spesso che le estremità del giunto siano lavorate in modo approssimativo o in alcuni casi non siano lavorate affatto.

La precisione d’accoppiamento del giunto sull’albero è sconosciuta

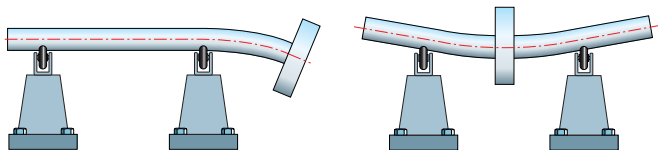
Ruotare solo un albero e misurare con i comparatori i piani d’accoppiamento opposti del giunto non serve a determinare l’asse di rotazione di entrambi gli alberi.

Normali condizioni d’esercizio

Le condizioni d’allineamento possono cambiare durante il funzionamento della macchina. Tra le molte ragioni per cui questo può accadere segnaliamo l’espansione termica, le sollecitazioni delle tubazioni, la coppia delle macchine, movimenti del basamento e gioco dei cuscinetti. Dato che l’allineamento dell’albero viene generalmente misurato su macchine “fredde”, l’allineamento misurato non rispecchia necessariamente la condizione d’allineamento “zero” delle macchine durante il funzionamento (vd. pag. 57–58).

L’allineamento va misurato ruotando gli alberi nel normale senso di rotazione. La maggior parte delle pompe, ventilatori, motori, eccetera, indicano il senso di rotazione tramite una freccia sul corpo della macchina.

Curvatura dell’albero

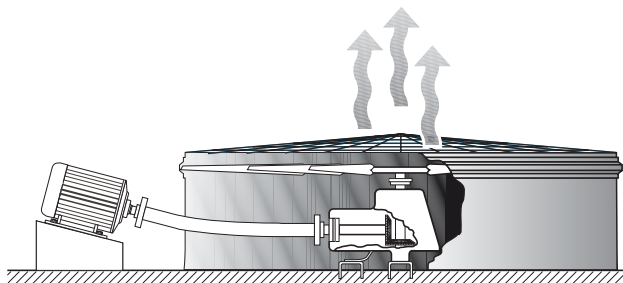
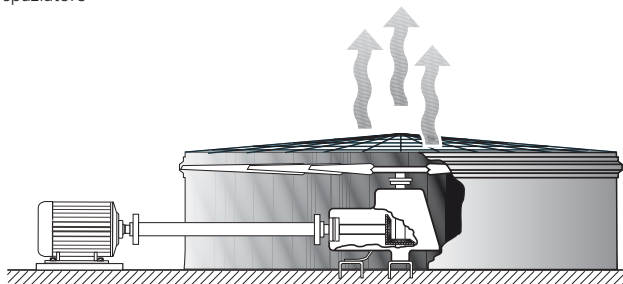
Il livello di curvatura dell’albero in una macchina dipende da una quantità di fattori come la rigidità dell’albero, il peso presente tra i supporti, la progettazione dei cuscinetti e la distanza tra i supporti.

La naturale curvatura dell’albero sotto il proprio peso

Per la maggior parte delle macchine ad accoppiamento ravvicinato, la curvatura dell’albero rappresenta un valore trascurabile e pertanto può essere ignorata ai fini pratici. Tuttavia, nel caso di treni di macchine ad azionamento lungo, per esempio i generatori a turbina nelle centrali elettriche o le macchine con giunti spaziatori lunghi come i ventilatori delle torri di raffreddamento o le turbine a gas, la curvatura del treno è significativa e va quindi presa in considerazione.

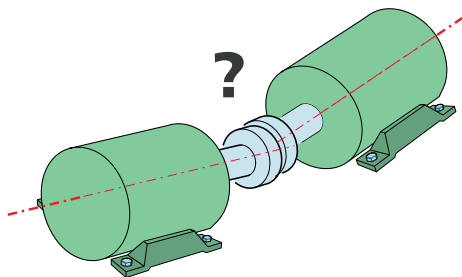
Curvatura dell’albero in treni di macchine

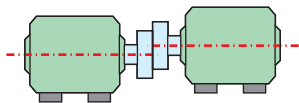
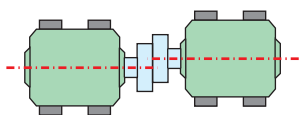
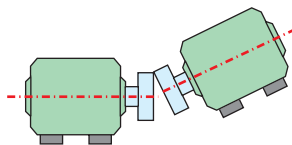
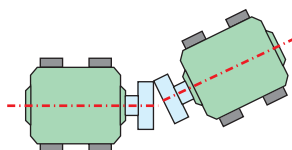
Nelle turbine a vapore, per esempio, gli alberi sono generalmente allineati con valori che superano 1/100 di mm., ma il punto centrale dell’albero intermedio può essere fino a 30 mm. più basso dei due alberi finali.

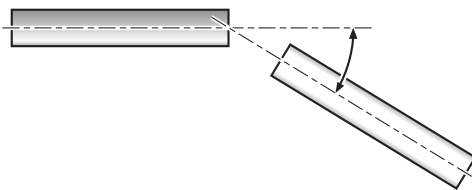
Funzionamento oltre la velocità critica

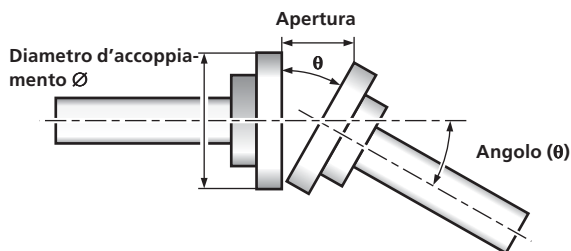
Quando un albero lungo e flessibile comincia a ruotare, la curvatura tende a raddrizzarsi ma non diventerà mai una precisa linea retta. E’ importante capire che l’asse di rotazione di un albero può avere una forma ellittica. In situazioni in cui due o più macchine sono accoppiate con uno o più alberi che ruotano su un asse di forma ellittica, è importante allineare gli alberi in modo tale che mantengano l’asse di rotazione curvo.

Velocità d’albero inferiore alla velocità critica:
Allineare i semigiunti delle macchine ai piani d’accoppiamento del giunto spaziatore

Velocità d’albero superiore alla velocità critica:
Allineare le due macchine ignorando il giunto spaziatore

Parametri d'allineamento

Dato che l'allineamento degli alberi deve essere misurato e quindi corretto, è necessario adottare un metodo per determinare e rappresentare le condizioni d'allineamento.

Tradizionalmente, l'allineamento viene calcolato in termini di letture dei comparatori ai piani d'accoppiamento o di valori di posizione ai piedi delle macchine. I valori misurati con questi due metodi dipendono dalle dimensioni delle macchine. Dato che vi sono diversi modi d'installare i comparatori (comparatori opposti, lato/fronte "rim&face" eccetera), confrontare le misurazioni e applicare le tolleranze può risultare problematico. Inoltre il fatto che le letture del comparatore sul bordo mostrano un valore pari al doppio del disallineamento effettivo e che bisogna invertire i segni a seconda che il comparatore misuri il lato o la faccia del giunto all'interno o all'esterno, a destra o a sinistra, complica ulteriormente le cose.

Un approccio più attuale e facilmente comprensibile consiste nel descrivere le condizioni d'allineamento delle macchine in termini di disallineamento sul piano orizzontale (pianta d'assieme) e verticale (pianta laterale). Grazie a questo metodo è possibile usare quattro valori per esprimere le condizioni d'allineamento come mostrato nel grafico successivo.

Disallineamento angolare, apertura e spostamento

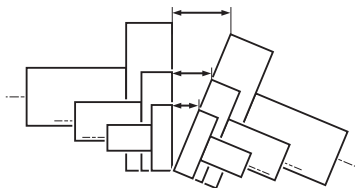
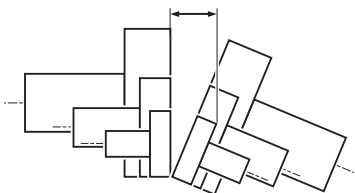
Il **disallineamento angolare**, o apertura, descrive l'angolo presente tra due assi rotanti.

Questo tipo di disallineamento può essere espresso in termini di angolo (gradi o mrads) o in termini d'inclinazione in mm. Quest'ultimo sistema è utile, visto che l'angolo moltiplicato per il diametro d'accoppiamento fornisce l'apertura equivalente presso il bordo del giunto.

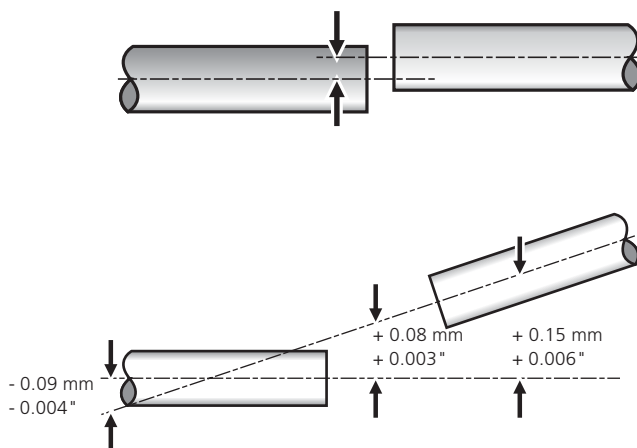
Pertanto il disallineamento angolare è più comunemente espresso in termini di APERTURA per diametro. L'apertura in sé non ha significato se non viene divisa per il diametro. Il diametro è correttamente definito come "diametro utile", ma spesso è chiamato "diametro d'accoppiamento". Il suo valore varia a seconda delle situazioni: è la relazione tra diametro e apertura che è importante.

Relazione tra angolo, apertura e diametro d'accoppiamento

Un'apertura di 0,127 mm misurata sul bordo superiore di un giunto da 6 pollici (152,4 mm) crea un angolo tra l'asse dei due alberi di 0,83 mrads.

Per un diametro d'accoppiamento di 10", questo corrisponde a un'apertura di 0,0083".

Per un diametro d'accoppiamento di 100 mm., l'apertura equivalente sarà di 0,083 mm.

Nota: 1 mrad = 1/1000 di pollice per ogni pollice
1 mrad = 1 mm per ogni metro

Stesso angolo, apertura diversa

Stessa apertura, angolo diverso

Lo **spostamento** descrive la distanza tra gli assi di rotazione in un dato punto. Talvolta lo spostamento viene erroneamente definito come spostamento parallelo o disallineamento dei bordi, ma gli assi di rotazione degli alberi sono raramente paralleli e il bordo del giunto o dell'albero ha una relazione sconosciuta con gli assi di rotazione dell'albero.

Come sopra illustrato, per la stessa condizione d'allineamento il valore dello spostamento varia a seconda del punto di misurazione della distanza tra due assi di rotazione. In assenza di necessità specifiche, lo spostamento viene misurato in mm. (o in millesimi di pollice) al centro del giunto. (Questa definizione si riferisce ai giunti corti elastici, mentre per i giunti spaziatori è necessario misurare lo spostamento ai piani d'accoppiamento del giunto).

Giunti corti elastici

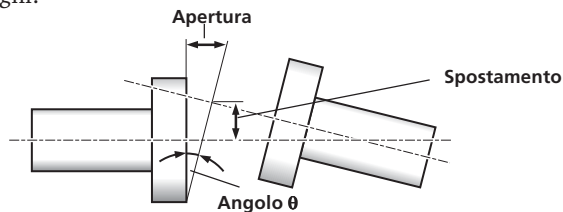
Per facilità di comprensione, definiremo i giunti corti elastici come i giunti in cui **la lunghezza assiale dell'elemento elastico, o la lunghezza assiale tra l'elemento elastico, è uguale o minore al diametro del giunto**.

I gruppi accoppiati con questo tipo di giunto che funzionano a velocità medie o alte richiedono un allineamento molto accurato per evitare un carico eccessivo sull'albero, sui cuscinetti e sulle tenute.

Dato che l'allineamento è virtualmente sempre una combinazione di apertura angolare e spostamento e il gruppo va allineato sia sul piano orizzontale che su quello verticale, sono necessari quattro valori per descrivere correttamente la situazione:

Apertura angolare verticale (o apertura per diametro)
Spostamento verticale
Apertura angolare orizzontale (o apertura per diametro)
Spostamento lineare orizzontale

Se non altrimenti specificato, lo spostamento si riferisce alla distanza tra gli assi di rotazione degli alberi al centro del giunto.

La figura sottostante mostra le definizioni e la convenzione sui segni:

Giunti spaziatori

I giunti spaziatori vengono normalmente utilizzati quando si prevedono delle significative variazioni all'allineamento durante il funzionamento del gruppo, dovute per esempio a espansione o contrazione termica. Questo tipo di giunto compensa le modifiche lungo il proprio asse, limitando l'apertura angolare ai piani di accoppiamento anche in presenza di ampi cambiamenti di posizione delle macchine.

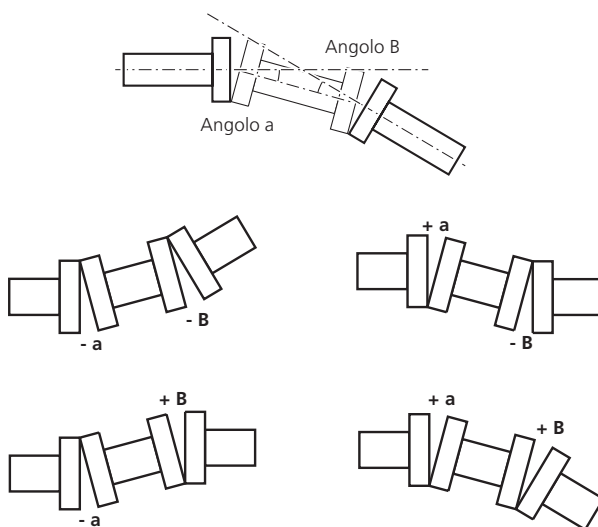
Determinare il disallineamento

Per questo motivo, la precisione dell'allineamento in gruppi accoppiati tramite giunti spaziatori con elementi flessibili a entrambe le estremità è meno critica di quella necessaria per i gruppi accoppiati tramite giunti elastici corti.

Per descrivere accuratamente le condizioni d'allineamento sono necessari quattro valori:

Angolo verticale "a"
Angolo verticale "B"
Angolo orizzontale "a"
Angolo orizzontale "B"

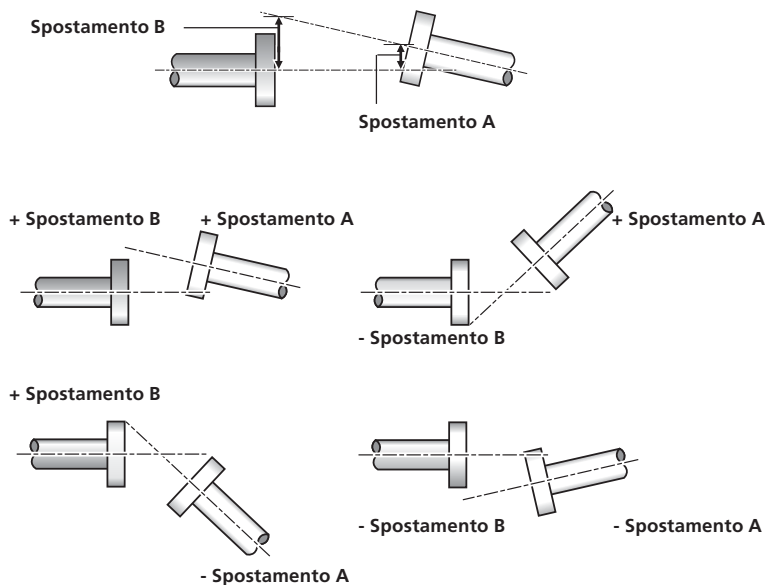
Gli angoli sono misurati tra l'asse di rotazione del giunto spaziatore e i rispettivi assi di rotazione delle macchine.

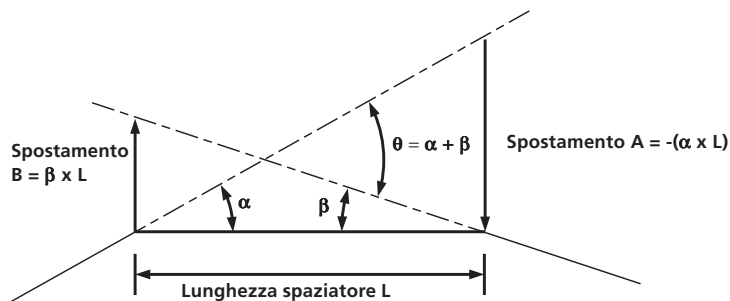
La figura sottostante mostra le definizioni e la convenzione sui segni:

Spostamento B - Spostamento A

In alternativa ai due angoli "a" e "B", l'allineamento può essere specificato in termini di spostamento

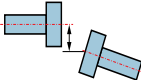
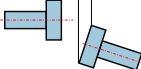
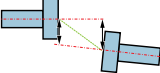
Spostamento verticale "B"
Spostamento verticale "A"
Spostamento orizzontale "B"
Spostamento orizzontale "A"

I vari tipi di spostamento vengono misurati tra gli assi di rotazione delle macchine alle estremità del giunto spaziatore, una procedura analoga a quella usata nell'allineamento con comparatore opposto.

La figura sottostante mostra le definizioni e la convenzione sui segni:

Relazioni

La figura sottostante illustra le relazioni esistenti tra i vari angoli e spostamenti.

Tolleranze d’allineamento per giunti flessibili

Le tolleranze d’allineamento mostrate nella tabella a pag. 15 sono valori generali basati su vent’anni di esperienza PRÜFTECHNIK e non vanno superati. Inoltre, suggeriamo di utilizzarli solo se gli standard aziendali o quelli del costruttore del giunto o della macchina non prescrivono altri valori.

I valori elencati vanno considerati come le massime deviazioni ammissibili per i valori target d’allineamento, siano questi pari a zero o pari a un valore desiderato per compensare l’espansione termica. Nella maggior parte dei casi una rapida occhiata alla tabella rivelerà se il disallineamento del giunto è ammissibile oppure no.

Per fare un esempio, supponiamo che un gruppo accoppiato tramite giunto corto elastico che funziona a 1500 giri/ minuto abbia uno spostamento presso il giunto di -0,04 mm. in senso verticale e di +0,02 mm. in senso orizzontale: entrambi questi valori ricadono nei limiti “ottimali” di 0,06 mm.

L’apertura angolare viene generalmente misurata in termini di apertura all’estremità del giunto. Per un dato angolo, a giunto di diametro maggiore corrisponde una maggior apertura all’estremità (vd. pag. 15). La tabella elenca dei valori per giunti di diametro pari a 100 mm o 10”. Per giunti di diametro diverso, moltiplicare il valore riportato in tabella per il fattore appropriato. Per esempio, supponiamo che una macchina che funziona a 1500 giri/ min. abbia un giunto con diametro di 75 mm. In questo caso, la max. apertura ammissibile equivale a: 0,07 mm x 75/100 = 0,0525 mm.

Per giunti spaziatori, la tabella fornisce il massimo disallineamento ammissibile per ogni 100 mm. o pollice di lunghezza del giunto. Per fare un esempio, una macchina che funziona a 6000 giri/min. con un giunto spaziatore di 300 mm. consentirà un disallineamento massimo di 0,03 mm x 300/100 = 0,09 mm. presso uno dei due piani d’accoppiamento dello spaziatore

I giunti rigidi non hanno alcuna tolleranza sul disallineamento. Pertanto, è importante allinearli il più accuratamente possibile.

TABELLA DELLE TOLLERANZE D'ALLINEAMENTO CONSIGLIATE

	[Giri/] min	Misure metriche [mm]		Misure in pollici [mil]	
Piedo zoppo	Qualsiasi	**0.06 mm**		**2.0 mils**	
Guinti corti elastici		**Accettabile OK**	**Ottimale ☺**	**Accettabile OK**	**Ottimale ☺**
Spostamento	600			9.0	5.0
	750	0.19	0.09		
	1 500	0.09	0.06		
	1 800			3.0	2.0
	3 000	0.06	0.03		
	3 600			1.5	1.0
	6 000	0.03	0.02		
	7 200			1.0	0.5
Apertura angolare (Differenza d'apertura per guinti di diametro pari a 100 mm o 10")	600			15.0	10.0
	750	0.13	0.09		
	1500	0.07	0.05		
	1 800			5.0	3.0
	3 000	0.04	0.03		
	3 600			3.0	2.0
	6 000	0.03	0.02		
	7 200			2.0	1.0
Giunti spaziatori e a membrana (disco)					
Spostamento (per 100 mm di spaziatore o pollice di lunghezza spaziatore)	600			3.0	1.8
	750	0.25	0.15		
	1 500	0.12	0.07		
	1 800			1.0	0.6
	3 000	0.07	0.04		
	3 600			0.5	0.3
	6 000	0.03	0.02		
	7 200			0.3	0.2

Nota

Per le macchine industriali, il livello di disallineamento ammissibile è una funzione di molte variabili tra cui giri/ min., potenza nominale, tipo di giunto, lunghezza dello spaziatore, progettazione delle macchine e aspettative sulla durata di servizio. Dato che non è pratico considerare tutte queste variabili in una specifica d'allineamento ragionevolmente utile, si rendono necessarie alcune semplificazioni sulle tolleranze.

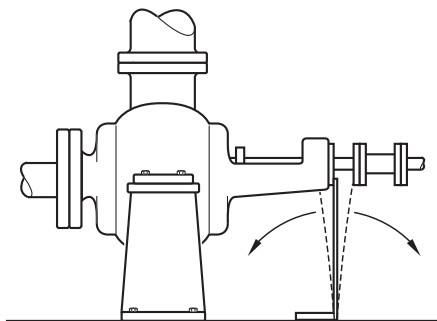
Le tolleranze basate sui giri/ min. e sulla lunghezza del giunto spaziatore sono state pubblicate per la prima volta negli ani '70. Molte di queste tolleranze si basavano soprattutto sull'esperienza acquisita con trasmissioni a ingranaggi lubrificate. Tuttavia, l'esperienza ha dimostrato che queste tolleranze sono ugualmente applicabili alla maggior parte dei sistemi d'accoppiamento non lubrificati che utilizzano elementi elastici nella loro progettazione.

Nella tabella a pag. 15, i limiti "accettabili" vengono calcolati in base alla velocità di scorrimento dell'acciaio lubrificato su altro acciaio, utilizzando un valore prudenziale di 12 mm./ sec. per la massima velocità di scorrimento ammissibile. Questi valori coincidono anche con quelli ottenuti dal gradiente di velocità degli elastomeri, per cui si applicano anche ai giunti corti con elementi elastici.

I valori "ottimali" si basano sulle osservazioni compiute su un ampio numero di macchinari industriali per determinare il livello critico di disallineamento per vibrazioni; in ogni caso, la conformità a questi valori di tolleranza non garantisce il funzionamento senza vibrazioni di una particolare macchina.

Sollecitazioni del giunto e curvatura dell'albero

Le nuove letture non concordano con gli spostamenti effettuati?

Quando si esegue un allineamento, può capitare sia con i comparatori che con i sistemi laser che le letture successive a un'operazione di allineamento non corrispondano alle correzioni effettuate. Una possibilità è che le sollecitazioni del giunto stiano deformando l'albero, le strutture di supporto delle macchine o il basamento. Questo caso è stato frequentemente osservato nel caso di gruppi con pompe che hanno una struttura di sostegno frontale "rigida" come quella mostrata in figura.

In questa applicazione, l'elemento flessibile costituito dal giunto è radialmente rigido e può influenzare la misurazione dell'allineamento. Si tratta di una situazione in cui è consigliabile disaccoppiare il giunto per poter procedere alla misurazione eliminando le sollecitazioni esterne.

Se non vengono prese contromisure, le influenze sopra descritte porteranno non solo a sbagliare l'allineamento sia nei valori di spostamento che di apertura angolare, ma anche ad effettuare correzioni in senso opposto a quello necessario.

Nei casi estremi, le sollecitazioni sul giunto imposte dal nuovo allineamento del gruppo possono curvare gli alberi durante il funzionamento. Nella maggioranza dei casi questa curvatura sarà minima, ma sufficiente a influenzare gli assi di rotazione misurati. Nella pagina successiva, questo potenziale problema viene illustrato in forma grafica.

Risoluzione dei problemi

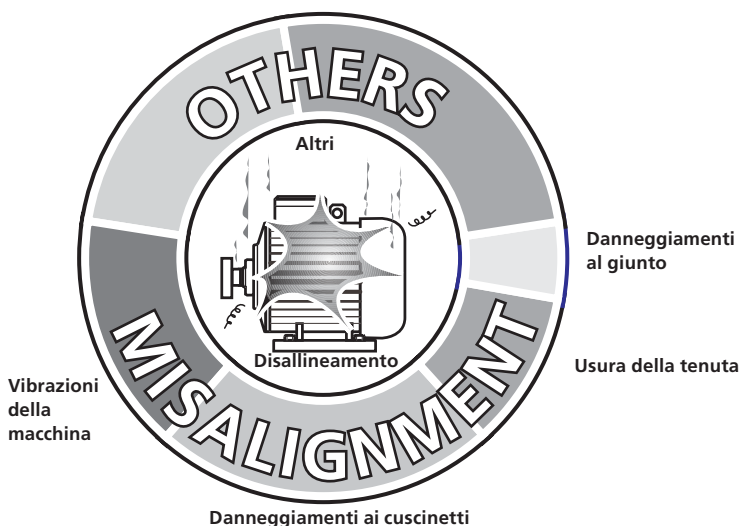
Condizione d’allineamento con gli alberi disaccoppiati

Allineamento misurato con gli alberi accoppiati. Vengono mostrate le proiezioni degli assi di rotazione.

Le correzioni vengono effettuate in base alle misurazioni. Le sollecitazioni sul giunto si sono ridotte e gli alberi verranno correttamente allineati al prossimo tentativo.

I giunti compensano il disallineamento?

Spesso, si sente dire: “Perché dovremmo perdere tempo ad allineare perfettamente le macchine quando sono accoppiate con un giunto elastico progettato apposta per compensare il disallineamento?”

L’esperienza e le raccomandazioni dei costruttori dei giunti riguardo al massimo disallineamento ammissibile suggeriscono altrimenti. Aneddoti, rapporti e statistiche concordano infatti su una cosa: circa il 50% dei malfunzionamenti delle macchine può essere direttamente attribuito al disallineamento degli alberi.

E’ vero che i giunti elastici sono progettati per compensare il disallineamento, in genere fino a 10 mm o più di spostamento radiale degli alberi. Tuttavia il carico imposto sugli alberi, e quindi su cuscinetti e tenute, aumenta notevolmente a causa delle forze di reazione che si creano nel giunto quando è disallineato. Per esempio, un giunto tipo vulcan da 445 mm. progettato per un disallineamento radiale massimo di 6 mm. a 600 giri/min. genera una forza di reazione di 1,2 kN per mm. di spostamento radiale (vd. *Diesel and Gas Turbine Worldwide,* novembre 1997, sez. “L’allineamento laser aiuta a ridurre le vibrazioni a bordo delle navi”).

Cuscinetti

I cuscinetti sono componenti di precisione progettati per funzionare con lubrificanti puliti e temperature d'esercizio costanti ma limitate. I componenti realizzati con una precisione pari o inferiore a 0,005 mm. non possono sopportare:

- Il funzionamento per lunghi periodi alle alte temperature generate dal disallineamento.
- Le contaminazioni provocate dai malfunzionamenti delle tenute che permettono l'ingresso di contaminanti, particelle, elementi metallici e altri solidi.
- I carichi meccanici assiali imposti per lunghi periodi dal disallineamento sui componenti attentamente lavorati e smerigliati.

Oltre ai danneggiamenti generati dal disallineamento in sé, i cuscinetti subiscono anche le conseguenze del malfunzionamento della tenuta e questo comporta la necessità di rimuoverli dall'albero per la riparazione o, più comunemente, la sostituzione. Nel caso di cuscinetti non sostituiti, la rimozione e la successiva re-installazione possono a loro volta provocare dei danneggiamenti. Per questo motivo, la maggior parte dei costruttori raccomanda la sostituzione dei cuscinetti durante gli interventi di riparazione delle pompe a prescindere dal loro stato apparente, poiché è facile non notare lievi difetti che possono progressivamente peggiorare dopo la re-installazione.

Tenute meccaniche

I carichi sull'albero generati dal disallineamento favoriscono l'usura della tenuta. Le tenute meccaniche sono dei componenti costosi, tanto da costituire spesso fino a un terzo del costo totale della pompa. Un'installazione carente e un disallineamento eccessivo dell'albero ne ridurranno sostanzialmente la durata. I produttori hanno affrontato il problema dell'installazione sviluppando le tenute a cartuccia, che possono essere installate con poche lavorazioni sul posto. Tuttavia, le tenute contengono dei componenti levigati e smerigliati di precisione con finiture fino a 2 micron (0,002 mm) e quindi non tollerano il funzionamento in condizioni di scarso allineamento. Lo sfregamento tra le facce, le temperature elevate e l'ingresso di contaminanti danneggia rapidamente i componenti più costosi.

Per giunta il malfunzionamento di una tenuta è spesso un evento catastrofico, in quanto il preavviso è limitato o inesistente e la conseguenza è l'arresto della macchina e/o della linea. A questo va aggiunto il costo di sostituzione di tenuta e cuscinetti e quello di riparazione della pompa. Tutto questo rende il malfunzionamento di una tenuta dovuto a disallineamento un problema costoso ma soprattutto inutile, in quanto perfettamente evitabile.

Vibrazioni delle macchine

Il disallineamento accresce le vibrazioni delle macchine. Un alto livello di vibrazioni porta all'affaticamento dei componenti e di conseguenza al malfunzionamento prematuro della macchina.

I numerosi vantaggi di un buon allineamento

I vantaggi ottenuti tramite buone pratiche di allineamento degli alberi cominciano con l'estensione della durata operativa delle macchine, assicurando così la disponibilità degli impianti quando la produzione lo richiede. Allineare correttamente i gruppi di macchine porta i seguenti vantaggi:

- Migliora la durata operativa e l'affidabilità degli impianti
- Riduce i costi di sostituzione di componenti essenziali come le tenute e i cuscinetti
- Limita i costi delle attività manutentive
- Aumenta la disponibilità degli impianti produttivi
- Limita le perdite produttive dovute a malfunzionamento dell'impianto
- Riduce la necessità di macchine in standby
- Migliora la sicurezza operativa dell'impianto
- Taglia i costi energetici
- "Spinge" i limiti operativi dell'impianto nei momenti di richiesta di maggior produzione
- Favorisce l'eventuale riduzione dei premi assicurativi sull'impianto grazie al miglioramento delle procedure e dei risultati operativi

Sintomi del disallineamento

Vista la difficoltà a misurare esternamente le forze radiali che si trasmettono da un albero all'altro, non è sempre facile rilevare il disallineamento su macchine funzionanti. L'analisi delle vibrazioni e la termografia a infrarossi

permettono d'identificare i sintomi principali del disallineamento come vibrazioni elevate in direzione assiale o radiale o temperature anormali in determinati punti del corpo delle macchine, ma anche in assenza di strumentazione complessa è possibile identificare il disallineamento grazie a problemi secondari mostrati dalle macchine.
Questi problemi secondari possono riguardare:

- Bulloni di fondazione allentati o spezzati
- Spessori e spine allentati
- Perdite d'olio eccessive dalle guarnizioni dei cuscinetti
- Dadi delle flange allentati o spezzati
- Riscaldamento di alcuni tipi di giunto elastico. Se il giunto presenta degli elementi elastomerici, cercare particelle di gomma nell'anello esterno del giunto.
- Livelli di vibrazione: verificare se macchine simili vibrano meno o hanno una durata maggiore.
- Livelli insolitamente alti di usura o rottura del giunto.
- Presenza eccessiva di olio o grasso nelle protezioni del giunto
- Rottura o incrinatura dell'albero presso i cuscinetti o i semi giunti.

Un preciso allineamento dell'albero dovrebbe costituire una pratica chiave nella strategia manutentiva delle macchine rotanti. Una macchina allineata a dovere rappresenta un asset affidabile e funzionerà come richiesto con minori necessità di manutenzione programmata (e non programmata). Nei paragrafi successivi verranno proposti alcuni esempi concreti per dimostrare come l'allineamento degli alberi porta dei vantaggi tangibili agli impianti. Il prossimo paragrafo è però dedicato ai vari metodi d'allineamento degli alberi, con particolare attenzione a quelli che permettono un buon allineamento delle macchine installate.

Un allineamento accettabile delle macchine rotanti può essere ottenuto con diversi metodi, che variano dal semplice uso di una riga ai più sofisticati sistemi laser. Il costo, naturalmente, è proporzionale al livello di ingegnerizzazione . In ogni caso, tutti questi metodi appartengono fondamentalmente a tre categorie:

- Allineamento visivo: riga e spessimetro
- Comparatori: indicatori meccanici del disallineamento
- Sistemi di allineamento laser

Ognuna di queste categorie presenta numerose variazioni e opzioni e questo manuale non può illustrarle tutte. Ci limiteremo quindi a esaminare i metodi più utilizzati di ogni categoria.

La preparazione è importante

Il primo passo per un perfetto allineamento è assicurarsi che la macchina da allineare possa essere spostata come richiesto. Questo comprende la mobilità verticale verso l’alto (utilizzando naturalmente delle attrezzature di sollevamento adeguate) e verso il basso, in quanto frequentemente una macchina deve essere abbassata. A questo proposito è opportuno inserire da 2 a 4 mm di spessori sotto i piedi delle macchine da accoppiare durante l’installazione iniziale. Raccomandiamo di inserire gli spessori sotto entrambe le macchine, in modo che le eventuali modifiche alle condizioni di ancoraggio al basamento possano venir successivamente compensate se questo si rende necessario.

Il posizionamento orizzontale delle macchine va effettuato utilizzando martinetti, attrezzature idrauliche o utensili concepiti per spostare grossi pesi, in modo da poter controllare con precisione il movimento e procedere lentamente, con delicatezza e continuità. Usare una mazza e altri metodi di questo genere non solo rende più difficile controllare il posizionamento, ma può danneggiare la macchina scheggiando per esempio i cuscinetti. Inoltre le vibrazioni possono spostare il sistema di allineamento durante la sistemazione del gruppo, mettendo così a repentaglio la precisione del monitoraggio durante la fase di correzione della posizione.

Linee guida all'installazione delle macchine

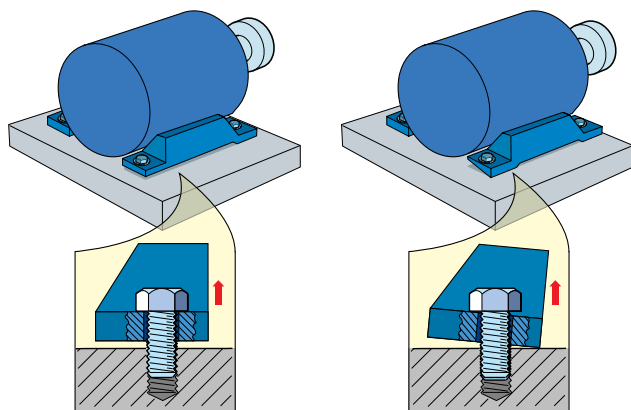
L'installazione di gruppi di macchine come una pompa, un riduttore, un compressore, eccetera, richiede l'osservanza di alcune regole generali.

- L'unità azionata viene generalmente installata per prima. L'albero del motore viene quindi allineato all'albero dell'unità azionata.
- Se l'unità viene azionata per mezzo di un riduttore, questi va allineato all'albero dell'unità azionata, mentre l'albero del motore va allineato al semigiunto opposto del riduttore.
- Effettuare dei controlli di base per determinare la precisione dei semigiunti. Va controllato principalmente il gioco radiale (concentricità e perpendicolarità) dei semigiunti utilizzando se possibile un comparatore. Semigiunti disallineati possono causare notevoli problemi di sbilanciamento.
- La preparazione del basamento, delle superfici d'installazione, dei piedi, dei supporti, eccetera, è d'importanza capitale! E' impossibile ottenere un buon allineamento se le superfici d'appoggio non sono perfettamente piane.
- Rimuovere, smussare o limare le eventuali sporgenze o sbavature dai piani d'appoggio e di contatto, dai fori dei bulloni di fissaggio e così via.
- Tenere sempre a disposizione degli spessori di qualità.
- Prima d'installare il sistema o la strumentazione d'allineamento, procedere a un attento esame visivo dell'allineamento tra giunto e albero. Seppur impreciso, l'occhio umano rappresenta sempre il primo strumento di verifica.
- Verificare che il gruppo sia perfettamente in squadra con il basamento (esame del piede zoppo) e intervenire se si rende necessario. Vedere le pagine successive.
- Mantenere gli spessori al minimo, utilizzandone al massimo 3 sotto ogni piede o supporto delle macchine.
- Correggere l'allineamento in modo da assicurarsi che durante il funzionamento del gruppo, gli alberi siano centrati nei cuscinetti e allineati secondo le tolleranze fornite dai costruttori.

- Prima di cominciare il lavoro, verificare sempre i valori d'allineamento forniti dai costruttori delle macchine. L'espansione termica potrebbe richiedere delle compensazioni specifiche da eseguire a freddo.
- Assicurarsi che le tubazioni collegate alle macchine siano correttamente supportate, ma libere di assorbire l'espansione termica.

Misurazione e correzione del piede zoppo

Un componente essenziale di qualsiasi procedura d'allineamento delle macchine è la misurazione e l'eliminazione del piede zoppo. Difatti, se una sedia o un tavolo che "ballano" sono una seccatura, una macchina che "balla" risulta semplicemente esasperante poichè assume posizioni diverse ogni volta che viene allineata e le successive di misurazioni di controllo indicano che è ancora disallineata. Inoltre se viene ancorata al basamento in quelle condizioni, il corpo della macchina e l'alloggiamento cuscinetti riceveranno delle sollecitazioni eccessive.

Il piede zoppo può essere di due tipi, come illustrato nella figura sottostante.

Piede zoppo parallelo **Piede zoppo angolare**

Il piede zoppo parallelo significa che il basamento e il piede sono paralleli uno all'altro e questo ne facilita la correzione, poiché basta aggiungere o rimuovere degli spessori di dimensioni adeguate. Il piede zoppo angolare invece viene causato dalla presenza di un angolo tra il piede e il basamento. Si tratta di una situazione più difficile da

diagnosticare e correggere: una soluzione consiste nell'utilizzare spessori rastremati, ma la soluzione più definitiva (e drastica) resta lo smontaggio della macchina in modo da livellare i piedi per poi ancorare correttamente la macchina al basamento.

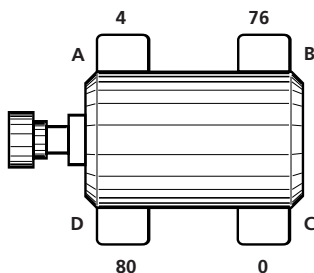
Misurazione del piede zoppo

Il piede zoppo può essere misurato con una varietà di tecniche prima di procedere con l'allineamento.

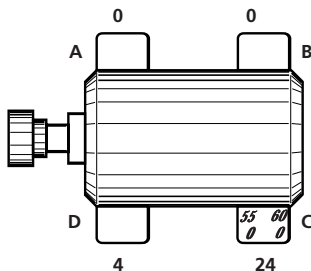
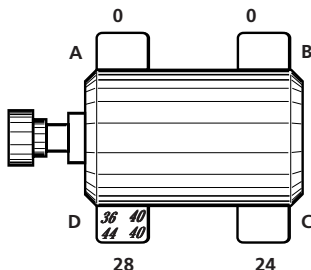
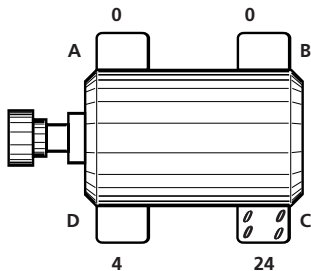
Se si utilizza un comparatore con base magnetica, posizionare il comparatore su uno dei piedi della macchina, azzerarlo e allentare i dadi di ancoraggio del piede. Registrare ogni variazione delle letture del comparatore, quindi stringere di nuovo i dadi di ancoraggio. Ripetere la procedura per tutti i piedi della macchina.

Se si utilizza invece una serie di spessimetri, allentare i dadi di ancoraggio del primo piede della macchina, misurare l'apertura presente sotto il piede e registrare i valori misurati. Stringere i dadi di ancoraggio e passare al piede successivo.

Se infine si utilizza un sistema laser, allentare i dadi del primo piede e il sistema misurerà automaticamente il sollevamento del piede. Stringere i dadi e passare al piede successivo.

Dopo aver determinato il valore del piede zoppo come mostrato nella figura sottostante, è possibile procedere con la correzione del problema intervenendo sui piedi in base alle condizioni diagnosticate.

L'esempio mostrato in figura mostra un classico problema di piede zoppo con oscillazioni della macchina sui piedi B e D.

L'istinto suggerisce di inserire degli spessori sotto entrambi i piedi per eliminare il problema, ma questo sarebbe un errore. La miglior soluzione consiste nell'inserire spessori per 80/100 mm. sotto uno solo dei piedi d'appoggio e quindi controllare nuovamente tutti i piedi.

Naturalmente il piede zoppo può essere dovuto ad altre cause, tra cui piedi deformati dalle sollecitazioni imposte dalle tubazioni o piedi "cedevoli" a causa di un numero eccessivo di spessori. La pagina successiva presenta graficamente 3 situazioni.

Esempio 1: piede deformato. Inserire i necessari spessori sotto il piede c e controllare tutti i piedi.

Esempio 2: sollecitazioni dalle tubazioni. Ridurre le sollecitazioni esterne.

Esempio 3: piede "cedevole". Rimuovere tutti gli spessori e re-inserire max. 3 spessori per ogni piede. Procedere quindi a un nuovo controllo.

NB: i valori riportati in piccolo si riferiscono alle misure prese con lo spessimetro.

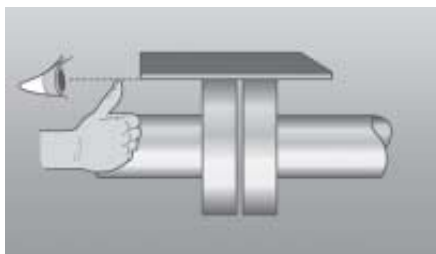
Per eliminare il piede zoppo, seguire questi passaggi:

1. Controllare i quattro piedi della macchina. Qualsiasi piede che indica più di 0,08 mm. va corretto come più opportuno.

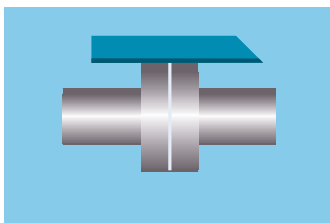
2. Misurare il piede zoppo più ampio (o i due maggiori, se i valori si equivalgono) con degli spessimetri per determinare il tipo di piede zoppo. Esaminare anche gli altri piedi non è certo sconsigliato, ma è meglio concentrarsi dapprima sul problema maggiore.

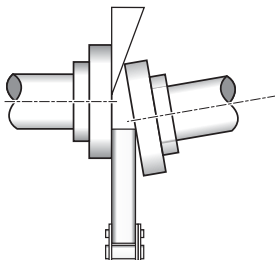
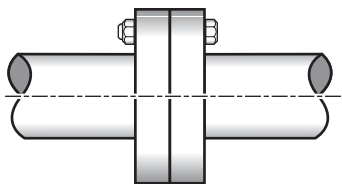
3. Correggere la condizione diagnosticata inserendo gli spessori più indicati sotto un solo piede.

4. Se tutti i piedi rientrano nelle tolleranze, cominciare l'allineamento.

La riga

Questo metodo d’allineamento degli alberi era un tempo pratica comune in molti impianti se il gruppo veniva accoppiato tramite giunto elastico. Sicuramente si tratta di un metodo molto economico e dagli “utensili” prontamente disponibili, ma questo non basta per attribuirgli tanta affidabilità da ancorare le macchine non appena i valori rientrano teoricamente nelle tolleranze!

Difatti i valori di correzione dei piedi d’appoggio venivano in genere stimati in base all’esperienza dall’operatore incaricato dell’allineamento. La stragrande maggioranza delle volte le correzioni ai piedi delle macchine andavano ripetute ancora e ancora prima di ottenere un allineamento soddisfacente, basandosi sul principio dei tentativi per correggere l’errore. Ma in effetti, non esiste alcuna certezza che l’allineamento sia davvero preciso.

Il punto debole di questo sistema è la risoluzione dell’occhio umano, limitata a 0,1 mm. Questo limita di conseguenza la precisione dell’allineamento. Inoltre, senza approfonditi controlli sulla precisione d’accoppiamento del giunto non è possibile correlare in modo diretto l’allineamento effettuato all’allineamento effettivo degli alberi.

Pertanto, questo metodo può essere definito come un metodo di misurazione dell’allineamento del giunto, non degli alberi come prima illustrato.

Spessimetro

Anche se viene qui classificato come un metodo d’allineamento visivo, l’allineamento con uno spessimetro può rappresentare un metodo perfettamente accettabile in determinate circostanze e per alcune macchine. Nell’installazione e allineamento di gruppi con turbina in cui il semigiunto è parte integrante dell’albero del rotore e non presenta elementi flessibili, un operatore esperto può allineare i due semigiunti con estrema precisione (come illustrato nel paragrafo “Tolleranze d’allineamento”, in questi accoppiamenti rigidi non è ammessa alcuna tolleranza per spostamento e apertura).

Utilizzando uno spessimetro o un calibro a corsoio, l’operatore misura accuratamente l’angolo di apertura tra i due semigiunti. Gli alberi vengono quindi ruotati di 180° e l’apertura viene nuovamente controllata. Questa procedura viene quindi utilizzata per le misurazioni sull’allineamento orizzontale.

Le letture vengono in genere elaborate in forma grafica per stabilire le condizioni d’allineamento e le eventuali correzioni necessarie. In alcuni casi gli operatori ruotano un solo albero di 180° per procedere a ulteriori letture, di cui verrà elaborata una media per eliminare qualsiasi possibile errore dovuto alla lavorazione degli alberi. La media delle letture costituiscono la base per il grafico dell’allineamento.

Per le macchine che utilizzano giunti con elementi elastici, l'impiego degli spessimetri presenta le stesse limitazioni del metodo con la riga e può solo essere definito un allineamento del giunto, non degli alberi.

Comparatore

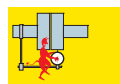
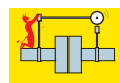
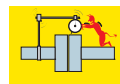
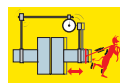
Per la stragrande maggioranza dei gruppi accoppiati tramite giunto elastico, l'allineamento con il comparatore rappresenta un notevole passo avanti verso lo sviluppo di metodi precisi d'allineamento degli alberi. Esistono però diversi modi d'installare i comparatori per l'allineamento delle macchine e questo manuale esaminerà i più diffusi. In ogni caso, bisogna chiarire subito che numerosi fattori possono influenzare la precisione delle letture e quindi gli operatori devono prestare molta attenzione durante gli allineamenti effettuati con questo strumento.

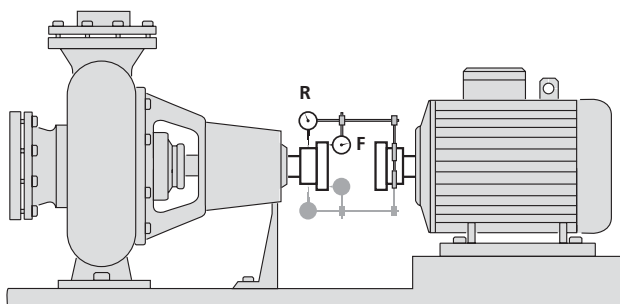
I fattori più comuni che influenzano negativamente le letture sono:

Flessione della staffa: Bisognerebbe sempre misurare la staffa prima di cominciare a prendere le letture, a prescindere da quanto solida appare. Vedere il paragrafo sulla misurazione della flessione.

Attriti interni/ isteresi: Talvolta è necessario dare qualche colpetto al quadrante perché la lancetta si fermi sul valore finale.

Risoluzione di 1/100 di mm: Una simile risoluzione implica un errore di arrotondamento che può arrivare fino a 0,005 mm in ogni lettura. Questo può facilmente sommarsi diverse volte in una serie di letture.

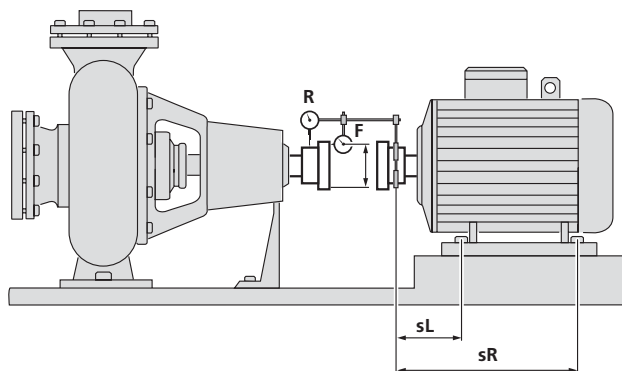
Errori di lettura: L'errore umano è sempre possibile se i comparatori vengono letti di fretta, in ambienti poco luminosi o scomodi e in condizioni difficili.

Gioco delle collegamenti meccaniche: Un gioco minimo può passare inosservato, ma produrre delle letture disastrose.

Inclinazione del comparatore: Il comparatore può non essere perfettamente perpendicolare alla superfice di misurazione, perdendo parte delle letture del disallineamento.

Gioco assiale dell'albero: Può influenzare le letture sui piani di contatto, necessarie per misurare il disallineamento angolare. L'unico rimedio è utilizzare due comparatori installati in senso assiale.

Metodo lato/ fronte “rim&face” con correzione degli errori tramite prove

L’interpretazione delle letture sull’allineamento dell’albero ottenute con i comparatori prendendo in considerazione fattori come la flessione della staffa richiede una comprensione elementare di matematica e geometria. Ma in alcuni casi la mancanza di tempo o conoscenze spinge a usare una procedura più approssimativa, che potremo definire di “tentativo ed errore”, in cui la flessione dell’asta e il gioco assiale vengono ignorati. Inoltre, solo un albero viene ruotato durante la misurazione e questo può comportare ulteriori errori nel calcolo dell’allineamento a causa di giochi radiali del giunto e curvatura degli alberi.

La situazione viene illustrata nella figura soprastante. I comparatori sono sistemati in posizione lato/ fronte e misurano il giunto della macchina stazionaria. Dopo averli azzerati a ore 12, l’operatore ruota di 180° l’albero della macchina da muovere fino alla posizione “ore 6”. Il piede più vicino al giunto viene alzato o abbassato per un valore equivalente alla metà della lettura del comparatore sul bordo. Sotto il piede più lontano dal giunto vengono ripetutamente sistemati degli spessori, fino a quando la lettura del comparatore sulla faccia resta invariata durante la rotazione dell’albero.

Allo stesso modo i comparatori vengono azzerati in posizione “ore 3” e l’albero ruotato in posizione “ore 9” per le correzioni orizzontali.

Di solito è facile capire quando è stato usato questo metodo, poiché si notano numerosi spessori sotto i piedi posteriori della macchina. Spesso questa procedura genera dei significativi errori di allineamento ai piani di trasmissione del giunto: pertanto, ovunque possibile si consiglia di ricorrere ad altri metodi di misurazione con comparatore o a sistemi d’allineamento laser.

Metodo lato/ fronte “rim&face” tramite calcolo

Lo strumento di misurazione per questo tipo di allineamento è il comparatore. Quando la spina dello strumento viene spinta verso l’albero, la lancetta indicatrice si muove in senso orario per un certo numero di tacche che equivalgono alla distanza percorsa dalla spina per toccare l’albero. Quando la spina viene estratta, la lancetta indica di nuovo la distanza percorsa. Il conteggio delle tacche è positivo quando la spina entra e negativo quando la spina viene estratta.

Questo tipo di allineamento prende il nome dalla posizione dei comparatori durante le misurazioni. La soprastante figura mostra un’installazione tipica.

Una volta installati gli strumenti, i due alberi vengono ruotati assieme e le letture vengono effettuate a ore 12.00, 3.00, 6.00 e 9.00.

Formule per calcolare le correzioni all'allineamento

Per queste misurazioni, l'allineamento della macchina da muovere sul piano della spina del comparatore è il seguente:

VO = (R6 - R0 - RS) / 2 VA = (F6 - F0 - FS) / diam.
HO = (R9 - R3) / 2 HA = (F9 - F3) / diam.

in cui:

R0 = Lettura laterale a ore 12.00
R3 = Lettura laterale a ore 3.00
R6 = Lettura laterale a ore 6.00
R9 = Lettura laterale a ore 9.00
F0 = Lettura frontale a ore 12.00
F3 = Lettura frontale a ore 3.00
F6 = Lettura frontale a ore 6.00
F9 = Lettura frontale a ore 9.00
diam = Diametro del cerchio percorso dalla spina del comparatore frontale
RS = Flessione del comparatore laterale
FS = Flessione del comparatore frontale (*)
s = Distanza dal piano di misurazione (spina del comparatore laterale) al piede della macchina (posteriore o anteriore).

(*) Questo valore può essere positivo o negativo.

Il senso di rotazione orario viene determinato guardando la macchina stazionaria (sinistra) dalla macchina da muovere (destra).

Spessore = (VA) (s) - VO

Spessore = (F6 - F0 + FS) (s) / diam - (R0 - R6 + RS) / 2

Spostamento = (HA) (s) - HO

Spostamento = (F9 - F3) (s) / diam - (R3 - R9) / 2

Se i comparatori vengono impostati sullo zero a ore 12.00 ed eseguono una lettura a ore 6.00, il calcolo dello spessore diventa:

Spessore = (F6 + FS) (s) / diam + R6 - RS / 2

Un risultato positivo significa che bisogna aggiungere spessori.
Un risultato negativo significa che bisogna rimuovere spessori.

Se i comparatori vengono impostati sullo zero a ore 3.00 ed eseguono una lettura a ore 9.00, il calcolo dello spostamento diventa:

Spostamento = (F9) (s) / diam + R9 / 2

Un risultato positivo significa uno spostamento verso ore 3.00
Un risultato negativo significa uno spostamento verso ore 9.00

I calcoli per stabilire gli spessori e lo spostamento necessari vanno ripetuti 2 volte: una per i piedi anteriori e una per i piedi posteriori.

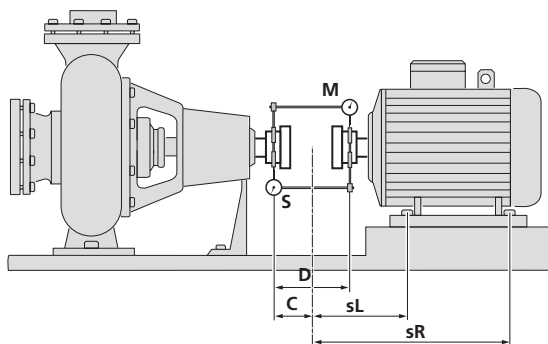
Regola di validità delle letture dei comparatori

La somma delle letture a ore 3 e ore 9 deve equivalere alle letture a ore 12 e ore 6. Questo si applica sia alle letture radiali che alle letture frontali.

Flessione

Una delle principali fonti di errore in questa procedura è la flessione dell’asta di collegamento orizzontale. Questo errore può influenzare a tal punto il calcolo degli spessori da portare a gruppi ampiamente disallineati. Per compensare la flessione è necessario misurarla (vd. pag. 41) e quindi aggiungere la lettura (che può essere positiva o negativa) alle letture prese a ore 6.00. Fare riferimento alle formule sopra illustrate.

Allineamento con comparatori opposti tramite calcolo

L’allineamento con comparatori opposti è il metodo più avanzato attualmente possibile con questo tipo di strumentazione e in quanto tale viene raccomandato dall’American Petroleum Institute (API 686) come il metodo d’allineamento preferito con i comparatori.

Questo tipo d’allineamento prende il nome dalla posizione opposta dei comparatori durante le misurazioni. La figura mostra un’installazione tipica.

Una volta installati gli strumenti, i due alberi vengono ruotati assieme e le letture vengono effettuate a ore 12.00, 3.00, 6.00 e 9.00.

Formule di calcolo del disallineamento

Per questa configurazione, il disallineamento al centro del giunto è il seguente:

VO = (S6 - S0 - SS) / 2 - (S6 - S0 - SS + M6 - M0 - MS) C / 2D

VA = (S6 - S0 - SS + M6 - M0 - MS) / 2D

HO = (S9 - S3) / 2 - (S9 - S3 + M9 - M3) C / 2D

HA = (S9 - S3 + M9 - M3) / 2D

in cui:

S0 = Lettura del comparatore S a ore 12.00
S3 = Lettura del comparatore S a ore 3.00
S6 = Lettura del comparatore S a ore 6.00
S9 = Lettura del comparatore S a ore 9.00
M0 = Lettura del comparatore M a ore 12.00

M3 = Lettura del comparatore M a ore 3.00
M6 = Lettura del comparatore M a ore 6.00
M9 = Lettura del comparatore M a ore 9.00
D = Distanza fra i comparatori
C = Distanza dal centro del giunto al piano del comparatore S
SS = Flessione della staffa del comparatore S *
MS = Flessione della staffa del comparatore M *

* Questi valori possono essere positivi o negativi

Le correzioni ai piedi della macchina da muovere (motore) possono venir calcolate come segue:

Spessore piedi di sinistra: = (VA x sL) - VO
Spessore piedi di destra: = (VA x sR) - VO

Un risultato positivo significa che bisogna aggiungere spessori.
Un risultato negativo significa che bisogna rimuovere spessori.

Spessore piedi di sinistra: = (VA x sL) - VO
Spessore piedi di destra: = (VA x sR) - VO

Un risultato positivo significa uno spostamento verso ore 3.00
Un risultato negativo significa uno spostamento verso ore 9.00

sL = Distanza dal centro del giunto ai piedi di sinistra della macchina da muovere (motore)
sR = Distanza dal centro del giunto ai piedi di destra della macchina da muovere (motore)

Se i comparatori vengono azzerati a ore 12.00 ed eseguono una lettura a ore 6.00, il calcolo degli spessori diventa:

HO = (S9 - S3) / 2 - (S9 - S3 + M9 - M3) C/ 2D
HA = (S9 - S3 + M9 - M3) / 2D

Spessori piedi di sinistra = (S6 - SS + M6 - MS) (c + sL) / 2D - (S6 - SS) / 2
Spessori piedi di destra = (S6 - S3 + M6 - MS) (c + sR) / 2D - (S6 - SS) / 2

Un risultato positivo significa che bisogna aggiungere spessori.
Un risultato negativo significa che bisogna rimuovere spessori.

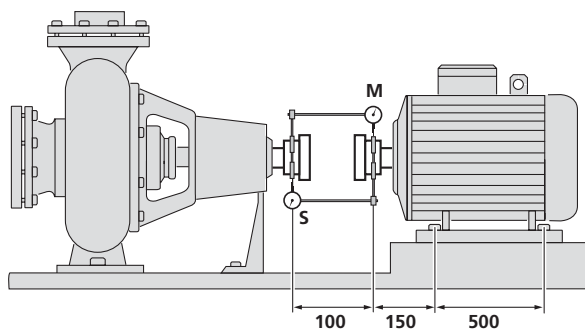
Se i comparatori vengono azzerati a ore 3.00 ed eseguono una lettura a ore 9.00, il calcolo dello spostamento diventa:

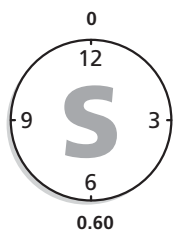
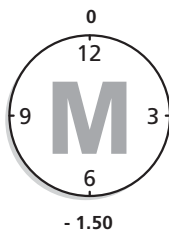
Muovi piedi di sinistra = (S9 + M9) (c + sL) / 2D - S9/2
Muovi piedi di destra= (S9 + M9) (c + sR) / 2D - S9/2

Un risultato positivo significa uno spostamento verso ore 3.00
Un risultato negativo significa uno spostamento verso ore 9.00

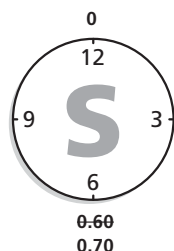
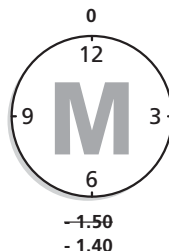
Per calcolare la flessione delle staffe dei comparatori, vd. pagina 41.

Allineamento con comparatori opposti tramite grafico

I calcoli illustrati nel paragrafo precedente possono sembrare scoraggianti per molti operatori e quindi poco piacevoli se non è possibile utilizzare il metodo lato/fronte “rim&face” a correzioni ripetute. Ma per evitare calcoli matematici è possibile utilizzare una soluzione grafica in modo da definire le condizioni d’allineamento e le correzioni necessarie sia in l’altezza che per lo spostamento laterale.

Il disegno mostra un’installazione tipica dei comparatori opposti, con la macchina di destra come macchina da muovere. Entrambi i comparatori vengono azzerati quando la lancetta si trova a ore 12. Il senso di rotazione viene determinato guardando la macchina stazionaria dalla macchina da muovere.

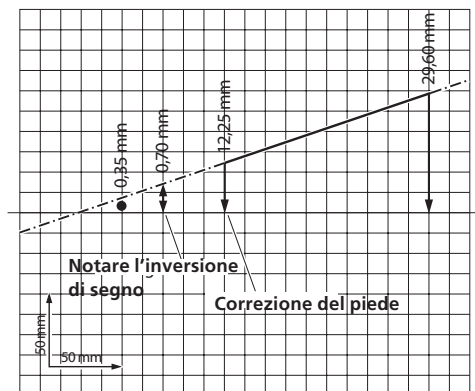
Gli alberi vengono ruotati di 180° nel normale senso di rotazione, leggendo e annotando i valori dei quadranti. Come esempio, supponiamo che le letture siano:

Valori in mm 0.60 - 1.50

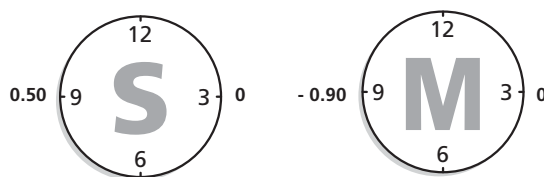
La flessione dell’asta dei comparatori è stata misurata in - 0,10 mm. Le letture finali saranno quindi:

0
12
9
M
3
6

Valori in mm ~~0.60~~ 0.70 ~~- 1.50~~ - 1.40

Questi valori vanno divisi per 2 per determinare il disallineamento verticale effettivo nei piani del comparatore.

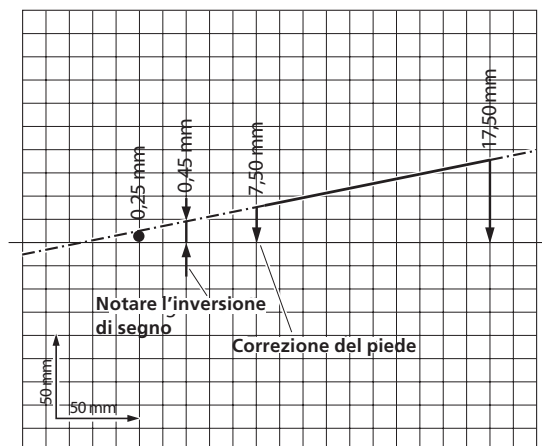
Disallineamento S = + 0,70 mm / 2 = + 0,35 mm
Disallineamento M = - 1,40 / 2 = - 0,70 mm

Gli spostamenti vengono quindi elaborati in un grafico come sotto illustrato:

Entrambi i comparatori vengono nuovamente azzerati quando la lancetta si trova a ore 3. Gli alberi vengono ruotati di 180° nel normale senso di rotazione, leggendo e annotando i valori dei quadranti. Quando gli alberi vengono riportati a ore 3, le letture dei quadranti devono tornare sullo zero.

Come esempio, supponiamo che le letture siano:

I valori di correzione dell’asta dei comparatori non sono applicabili alle letture orizzontali.

Le letture finali vanno divise per 2 per determinare il disallineamento effettivo nei piani del comparatore.

Disallineamento S = + 0,50 mm / 2 = + 0,25 mm
Disallineamento M = - 0,90 / 2 = - 0,45 mm

Gli spostamenti vengono quindi elaborati in un grafico come sotto illustrato:

Gli spessori da inserire per le correzioni in senso orizzontale e verticale vengono mostrati sui rispettivi grafici. Le correzioni danno per scontato che l'allineamento debba essere 0,0 sia sul piano orizzontale che su quello verticale. Le eventuali raccomandazioni del costruttore riguardo l'espansione termica, oppure i valori calcolati in officina, vanno inseriti nelle correzioni con gli spessori o nelle letture originali degli indicatori.

Flessione della staffa del comparatore

Per misurare la flessione della staffa, montare l'intero comparatore (staffe, aste e comparatori) su un tubo diritto. Sistemare l'assieme fino a portare le staffe alla stessa distanza che le dividerà quando verranno montate sul gruppo da misurare. Anche i quadranti vanno installati in modo simile o identico a come verranno installati sul gruppo. Con i comparatori a ore 12.00, azzerare i quadranti. Ruotare il tubo fino a portare i comparatori a ore 6.00. Leggere e trascrivere i valori indicati (il comparatore laterale avrà un valore negativo, quello frontale positivo o negativo, ma deve comunque essere vicino allo zero).

Il sistema laser di allineamento degli alberi cominciò a diffondersi a metà degli anni ’80, quando PRÜFTECHNIK-lanciò OPTALIGN, il primo sistema commerciale di allineamento laser supportato da computer. Nonostante il prezzo relativamente elevato, il sistema guadagnò subito un’ampia popolarità presso i tecnici e le aziende di un’ampia gamma di settori di dell’industria in tutto il mondo.

OPTALIGN offriva molti significativi vantaggi, permettendo finalmente l’allineamento rapido e preciso di gruppi di macchine rotanti. Da allora il sistema si è notevolmente evoluto grazie ai progressi delle tecnologie laser e dei microprocessori, e i sistemi laser di nuova generazione offrono agli utenti un’estrema semplicità d’uso e operazioni controllate da menu, oltre ad altre caratteristiche che li rendono idonei all’uso per ogni intervento d’allineamento a prescindere dalla loro complessità e dalle dimensioni delle macchine.

Come illustrato nei paragrafi precedenti, vi sono molteplici considerazioni da tener presente quando si utilizzano dei sistemi meccanici di allineamento. Inoltre i calcoli per stabilire le necessarie correzioni possono risultare alquanto complessi, con la conseguente possibilità di errori. Per contro, nessuna di queste considerazioni si applica ai metodi di allineamento laser. La precisione dell”allineamento e i vantaggi che questo comporta sono prontamente disponibili quando l’impianto è dotato di questo tipo di strumentazione.

Presentiamo qui un breve riassunto dei vantaggi offerti dall’allineamento laser:

- Allineamento di precisione senza raccolta manuale dei dati né calcoli grafici o numerici da eseguire.
- Display grafico delle misurazioni prese ai piani d’accoppiamento del giunto, completo dei valori di correzione e spostamenti necessari per un preciso allineamento della macchina.
- Nessun sistema meccanico, niente rischio di flessione dell’asta del comparatore.
- Niente smontaggio del giunto.
- Nessuna necessità di prendere letture in punti predeterminati, p.es. ore 12, ore 3, ore 6 e ore 9 dei comparatori. I risultati compaiono sullo schermo dopo una rotazione dell’albero di 60°.

- Memorizzazione e stampa dei risultati per l'elaborazione di rapporti.
- Certificazione della precisione del sistema per soddisfa re gli standard ISO 9000.
- Sistema di staffe universali per tutti i tipi di misurazioni dell'allineamento. Non bisogna più ricorrere a bizzarre installazioni per le misurazioni sui giunti spaziatori lunghi.
- Menu guidato utilizzabile per un'ampia gamma di funzioni.
- Display dinamico in tempo reale delle correzioni vertica li e orizzontali durante l'intervento.
- Tolleranze di allineamento incorporati nel sistema per una rapida analisi della precisione delle misurazioni eseguite.

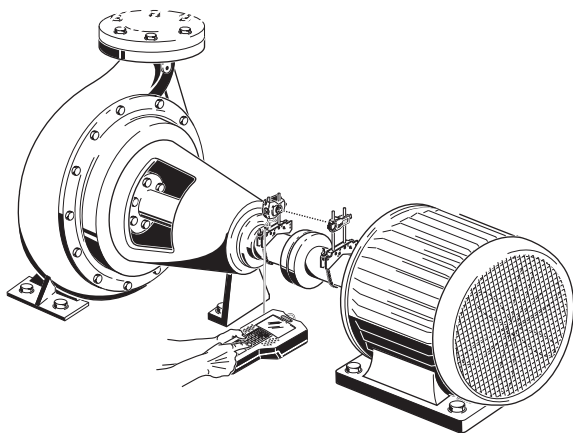
Questi sono solo alcuni dei vantaggi che presentano i sistemi laser utilizzati per l'allineamento degli alberi. Tuttavia, la cosa più importante è stabilire le funzionalità del sistema di allineamento che più si adattano alle necessità dell'utilizzatore. Attualmente il mercato offre diversi sistemi di allineamento laser, sviluppati da molteplici produttori.

Come minimo, il sistema scelto deve offrire le seguenti capacità:

- **Calibrazione certificata in base a standard conosciuti:** E' del tutto inutile acquistare un sistema di allineamento laser la cui precisione non può essere certificata.
- **Alta precisione e ripetibilità:** Una scarsa precisione porterà a valori di correzione errati. Alta ripetibilità significa che sono necessarie meno misurazioni per acquisire i dati sufficienti a calcolare dei risultati precisi.
- **Robusto, impermeabile, antipolvere e antiurto:** Un involucro robusto significa la possibilità di utilizzare lo strumento anche all'esterno e in condizioni avverse (per esempio su macchine bagnate). Strumenti robusti con garanzia di approvazione come quello fornito dagli standard IP 65 e 67 permettono di lavorare anche nelle condizioni più difficili**.**
- **Disponibilità versioni a sicurezza intrinseca** per utilizzo in aree esplosive.

- **Capacità di riprendere la misurazione:** Riprendere la misurazione significa poter interrompere per qualsiasi motivo la misurazione in corso, per poi riprenderla più tardi senza dover reinserire le dimensioni o gli obiettivi grazie al salvataggio delle misurazioni effettuate. Il sistema deve essere in grado di non perdere neppure un dato.
- **Capacità di estendere il campo di misura:** La capacità di ampliare il campo dinamico del sistema di misurazione laser assicura la capacità del sistema di adattarsi a condizioni di disallineamento impreviste senza dover ripartire daccapo. Inoltre i sistemi di misurazione statici non permettono di allineare i gruppi fortemente disallineati, né di misurare giunti spaziatori lunghi o medi qualunque siano le dimensioni del piano di misurazione (vedere. note successive).
- **Piedi stazionari intercambiabili:** La possibilità di variare i piedi stazionari offre agli operatori la massima flessibilità e la capacità di operare sui piedi ancorati al basamento della macchina da muovere senza la necessità di procedere a nuove misurazioni o di effettuare calcoli complessi. Il display mostra tutte le possibili alternative di movimento della macchina per le correzioni da apportare.
- **Ampio assortimento di staffe:** Molteplici staffe significano la possibilità d'installare rapidamente la strumentazione anche sulla più complessa delle macchine.
- **Verifica tolleranze:** La verifica immediata delle tolleranze d'allineamento fa risparmiare tempo e fatica, elimina il tempo perso in spostamenti superflui della macchina e controlla automaticamente le condizioni di allineamento, indicando le condizioni ottimali o accettabili.
- **Elaborazione dei rapporti direttamente dallo strumento:** L'elaborazione diretta dei rapporti significa la possibilità di stamparli più rapidamente su qualsiasi stampante con il numero di serie, la data, l'ora e il nome operatore. Per fare un esempio, questo permette di soddisfare appieno i requisiti di rintracciabilità di ISO 9000.

Principi operativi di base dei sistemi laser

Essenzialmente esistono due tipi di sistemi laser: uno utilizza un singolo raggio laser proiettato su ricevitore o su un prisma che riflette il laser verso l'emettitore/ricevitore, mentre l'altro utilizza due laser ognuno con un rilevatore incorporato. Il primo di questi due sistemi è brevettato da PRÜFTECHNIK, che quindi è l'unica a poterlo utilizzare; il secondo sistema viene invece utilizzato da tutti gli altri fornitori di sistemi d'allineamento laser.

Il sistema a laser singolo sopra mostrato offre un buon numero di vantaggi in grado di migliorare la versatilità e la praticità del sistema:

Capacità di ampliare il campo di misura: Raccogliere i dati tramite un singolo raggio laser significa che è possibile ampliare dinamicamente il campo del rilevatore misurando così anche i gruppi fortemente disallineati. Vedere oltre per le spiegazioni tecniche.

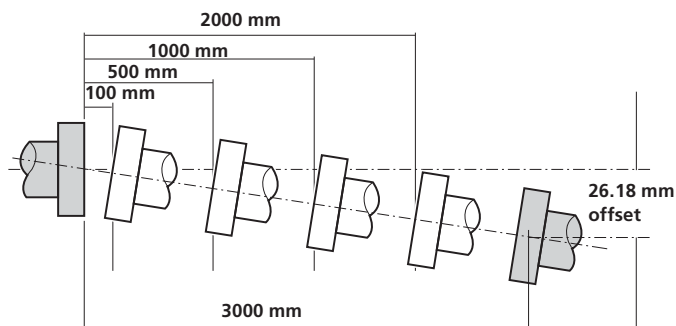
Capacità di dividere allineamento: Un singolo raggio laser permette di allineare gruppi privi di spaziatore o giunto corto. Ogni albero può essere ruotato in modo indipendente e questo risulta particolarmente utile quando vengono utilizzati giunti spaziatori o idraulici di grandi dimensioni, quando bisogna allineare grandi macchine come le turbine o quando non è possibile ruotare con facilità uno o entrambi gli alberi.

Tecnologia a cavo singolo: Il sistema a laser singolo richiede solo un cavo oppure non necessita di cavi. Questo risulta utile in presenza di giunti spaziatori lunghi, come quelli usati negli azionamenti delle torri di raffreddamento, in cui i cavi possono influenzare le misurazioni dell'allineamento attorcigliandosi attorno al giunto durante le misurazioni.

Un solo laser da regolare: In presenza di giunti spaziatori lunghi o grandi macchine, la regolazione è molto più facile con una sola posizione di riferimento da calibrare.

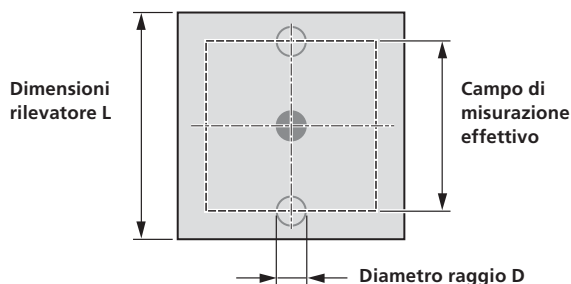
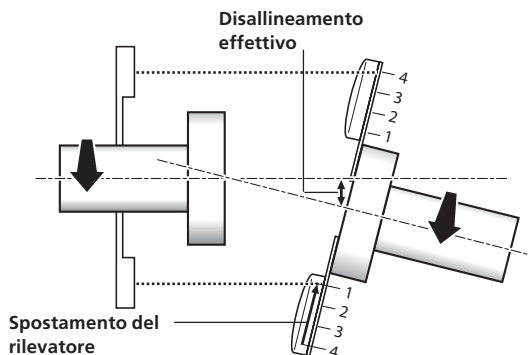
Importanza della capacità di ampliare il campo di misura

Perché è così utile poter ampliare il campo di misura in un sistema di allineamento laser? Non sarebbe meglio sviluppare un'area di rilevamento più grande? Sicuramente sarebbe molto utile poter avere un'area di rilevamento stazionaria di 500 mm., ma il sistema diventerebbe inutilizzabile semplicemente a causa delle sue dimensioni e del suo peso. Pertanto, il compromesso ideale è ampliare dinamicamente il piano di misurazione quando le circostanze lo richiedono. Questo mantiene al minimo le dimensioni e il peso del sistema e pertanto massimizza il suo utilizzo in aree difficili da accedere.

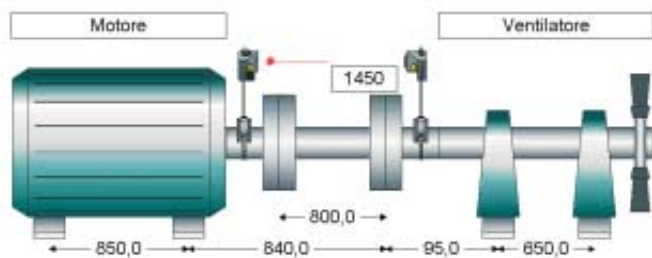
Prendiamo ad esempio il motore di una torre di raffreddamento accoppiato con un giunto spaziatore da 3000 mm. Con queste dimensioni, il disallineamento tra gli alberi può risultare significativo anche in presenza di una leggero disallineamento angolare tra albero motore e albero azionato.

La figura a pagina 46 illustra i limiti imposti dai giunti spaziatori lunghi. Prendendo come esempio un accoppiamento con un'apertura angolare tra i semigiunti di 0,5 gradi, per un giunto corto di 100 mm avremo un disallineamento di 0,87 mm. al centro giunto, cioè un disallineamento misurabile con facilità da qualsiasi sistema laser.

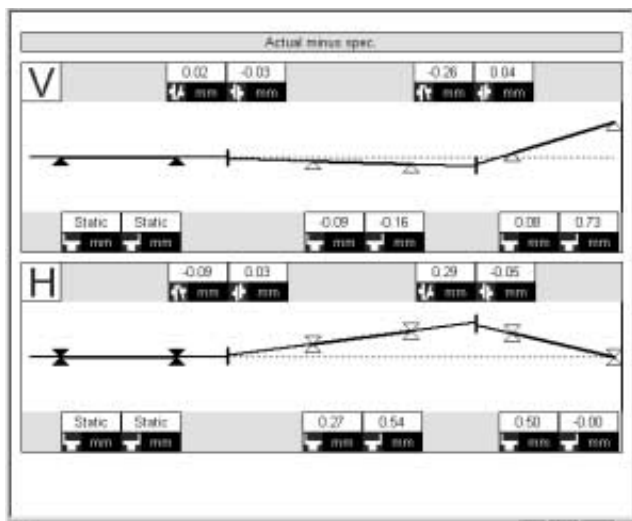
Per contro, con una distanza tra i piani di accoppiamento pari a 500 mm il disallineamento al centro giunto diventa di 4,36 mm, un valore che esce dalla gamma di valori misurabili con la maggior parte dei sistemi statici di misurazione laser. A maggior ragione questo vale per un giunto spaziatore di 1000 mm, il cui disallineamento al centro giunto sarà di 8,72 mm.

Il giunto in questione però è lungo 3000 mm e dato che all'aumento della lunghezza del giunto corrisponde un disallineamento maggiore, tra gli alberi della torre di raffreddamento vi sarà un disallineamento di 26,18 mm. Si tratta di un valore molto alto, generato però da un'apertura tra i piani di accoppiamento di soli 0,5 gradi!

Un disallineamento di questa ampiezza può essere misurato solo da un sistema in grado di ampliare le proprie capacità di misurazione, dato che un sistema statico avrebbe bisogno di un'area di rilevamento di circa 60 mm. per una misurazione di questo tipo. Il motivo è semplice e consiste nel fatto che l'area di misurazione attiva è inferiore alla superficie totale di rilevazione disponibile allo strumento. Per esempio, se la superficie di rilevazione è pari a 20 x 20 mm. e il laser ha un diametro di 4 mm., il campo di misurazione utile sarà di 16 mm, come mostrato nella figura sottostante.

Per poter misurare il disallineamento, l'area di rilevamento dev'essere pari ad almeno il doppio del disallineamento. Proprio come avviene con i comparatori, l'apparecchio ricevente del sistema laser misura il doppio del disallineamento effettivo dei due alberi, come mostrato nella figura sottostante.

Per misurare un disallineamento effettivo di 2,0 mm. è necessario un campo di misurazione del rilevatore di almeno 4,0 mm.

Pertanto l'importanza di poter ampliare il campo di misurazione appare chiara nei casi in cui i gruppi vengono accoppiati con giunti spaziatori lunghi, ma perché dovrebbe essere altrettanto importante nei casi di accoppiamento con giunti corti, diciamo meno di un metro?

Per rispondere a questa domanda, forniamo un esempio basato su un'applicazione concreta che illustra i vantaggi della capacità di ampliare le misurazioni in ogni caso. L'esempio riguarda le misurazioni su un gruppo motore/ventilatore, come illustrato nella figura sottostante.

La lunghezza del giunto era di 800 mm. La misurazione dello spostamento e dell'apertura angolare al giunto (distanza 100mm) erano:

Verticale: spostamento 0,00 mm apertura 0,72 mm.
Orizzontale: spostamento 0,00 mm apertura 1,05 mm.

Per misurare il reale disallineamento , strumenti non Pruftechnik dovrebbero essere in grado di misurare uno spostamento di 8,40 mm. Per riuscirci, però, il campo di rilevamento deve essere pari a 20,8 mm. come illustrato dalla seguente formula:

Valore di spostamento misurato x 2 + diametro raggio laser (8,4 mm x 2) + 4 mm = 20,8 mm.

Nessuno strumento all'infuori di quelli prodotti da Pruftechnik è in grado di misurare questo valore di disallineamento!

A seconda delle necessità specifiche da risolvere giorno dopo giorno negli interventi d'allineamento, la capacità di ampliare il campo di misurazione del sistema può rappresentare il fattore d'influenza decisivo per la scelta del tipo di sistema. Qualunque sia la scelta, l'impianto otterrà degli indubbi vantaggi dalla capacità di ampliare il campo di misurazione, come illustrato nei seguenti esempi concreti.

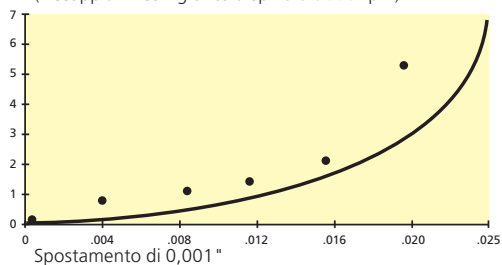
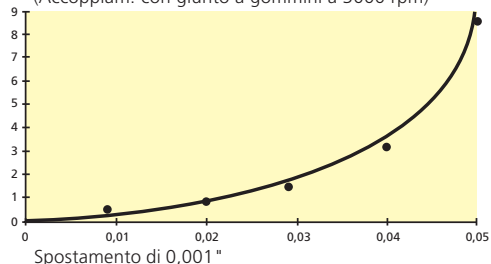
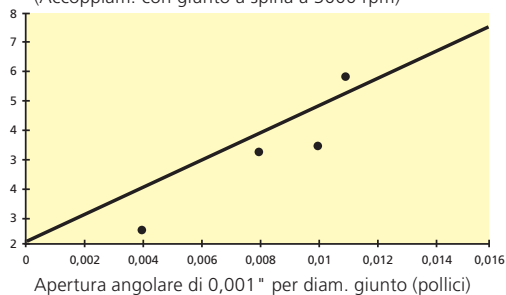
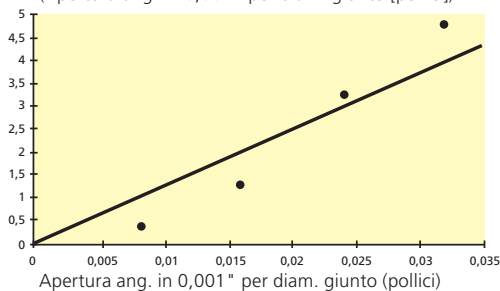
L'allineamento laser taglia i costi energetici

Un progetto per determinare l'influenza del disallineamento degli alberi sul consumo totale di energia di un impianto è stato portato avanti come studio universitario in un grande impianto chimico di processo in Gran Bretagna. Lo studio è stato condotto nell'arco di sei settimane in un ambiente controllato, che rifletteva accuratamente le normali condizioni d'esercizio delle macchine.

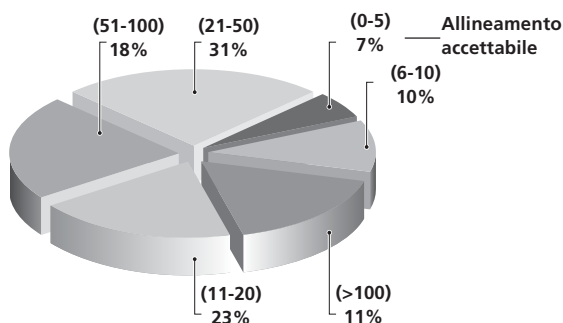
Per la ricerca è stata scelta una pompa con motore da 7,5 kW di una linea ridondante. Prima dell'inizio del progetto, pompa e motore sono stati rimossi e portati in officina per la sostituzione dei cuscinetti e il ribilanciamento, in modo da eliminare qualsiasi fattore esterno che potesse alterare i risultati. Il basamento del motore è stato quindi dotato di piastre e viti a martinetto per permettere delle variazioni di precisione alle condizioni di allineamento. Il gruppo è stato infine collegato a una tubazione a circuito chiuso per il ricircolo di acqua pulita, quindi avviato e portato a velocità massima (3000 giri/ min. ± 1% a causa delle variazioni in condizioni di carico).

Per un certo periodo, il gruppo ha funzionato con un allineamento perfetto (0,00 mm di spostamento e apertura angolare su entrambi i piani orizzontale e verticale). Nel frattempo la corrente assorbita veniva misurata al pannello di distribuzione diverse volte al giorno. La prova è quindi entrata nel vivo, con disallineamenti controllati e costanti per diversi giorni e regolari misurazioni della corrente assorbita in ogni condizione.

Nell'impianto, i principali tipi di accoppiamento erano con giunti a gommini o a spina. Allo scopo di ottenere un quadro ragionevole dei potenziali risparmi energetici, il disallineamento controllato è stato applicato a entrambi i tipi di accoppiamenti, con la misurazione della corrente assorbita nelle varie fasi di disallineamento.

I risultati dello studio vengono mostrati nei grafici successivi. Lo spostamento influenza il consumo energetico più dell'apertura angolare, mentre quest' ultimo influenza la corrente assorbita più negli accoppiamenti con giunto a spina che in quelli a gommini. I valori restano invariati, a prescindere dal disallineamento verticale od orizzontale.

offset	%
0,001"	0,0
0,010"	0,7
0,021"	1,0
0,029"	1,3
0.039"	2,0
0.049"	5,2
0.060"	6,6

offset	%
0,001"	0,0
0,010"	0,7
0,021"	1,0
0,029"	1,3
0.039"	2,0
0.050"	5,2

gap	%
0,004"	0,3
0,008"	3,1
0,010"	3,3
0,011"	5,7
0.016"	7,8

gap	%
0,008"	0,3
0,016"	1,2
0,024"	3,2
0,032"	4,8

Le conclusioni del progetto hanno portato alla raccomandazione di allineare le macchine entro una tolleranza di 0,005" per lo spostamento e di 0,0005" per l'apertura angolare per ogni pollice di diametro d'accoppiamento.

Per stimare i potenziali risparmi sui costi generati da questo nuovo standard d'impianto, si è proceduto alla misurazione casuale di un campione di macchine per stimare la portata del disallineamento presente nell'impianto. Il sottostante grafico a torta illustra i risultati di questa ricerca.

Disallineamento in 1/100 di mm. misurato al centro giunto per un campione di 100 macchine che funzionavano a 3000 giri/ min.

Meno del 10% delle macchine esaminate rientravano nei nuovi standard d'allineamento raccomandati dall'impianto.

Basandosi su questo grafico, è stato stimato un disallineamento rappresentativo medio di 0,35 mm. come misura ragionevole per calcolare il potenziale di risparmio energetico dell'impianto. Visto che il consumo totale di energia per le macchine rotanti dell'intero impianto si aggirava sui 30 megawatt, la stima del risparmio energetico basata sui risultati della ricerca è stata:

- Costo per kWh: 0,08 Euro
- Stima prudenziale del risparmio energetico: 0,75%

30.000 kW x 0,75% x 0,08/ kWh = 18,00 Euro ogni ora

Pari a 155.520,00 Euro all'anno! (calcolato 24 ore al giorno per 360 giorni l'anno)

L'allineamento laser migliora l'affidabilità delle pompe

L'introduzione di un programma completo di allineamento e monitoraggio delle pompe ha portato dei sostanziali vantaggi operativi in un impianto inglese di produzione di acetato. Il processo produttivo impone il convogliamento di fluidi da una fase all'altra del processo, effettuato tramite 260 gruppi di pompaggio: è dunque essenziale che sia le pompe in servizio che quelle in stand-by siano affidabili e sempre disponibili.

Ciononostante, fino al 1996 la manutenzione in questo impianto consisteva più che altro nel passare da un'emergenza all'altra. In quell'anno, il responsabile manutentivo riuscì a persuadere il management ad adottare una visione maggiormente proattiva della manutenzione delle pompe e del monitoraggio delle loro prestazioni. Questo portò all'introduzione dei sistemi di allineamento laser e di condition monitoring della PRÜFTECHNIK, con l'adozione di un piano cooordinato per migliorare le prestazioni dell'impianto.

Negli anni precedenti, gli interventi di riparazione riguardavano mediamente 120 pompe all'anno con un costo complessivo di circa 146.300,00 Euro. Il tempo medio tra i malfunzionamenti (MTBF) delle pompe era di circa 10 mesi. Ma applicando una combinazione di allineamento laser sulle macchine ricondizionate (e quando possibile su quelle in esercizio), di routine di condition monitoring per l'intero impianto e d'interventi di verifica di componenti essenziali come le tenute, i cuscinetti e le guarnizioni, l'impianto ha cominciato a registrare risparmi significativi sulla manutenzione dei gruppi di pompaggio più importanti.

Dopo qualche anno, il programma ha mostrato appieno tutti i suoi vantaggi. L'affidabilità dell'impianto è aumentata e il tempo medio tra i malfunzionamenti è passato da 10 a 46 mesi. Anche gli interventi di routine sulle pompe si sono drasticamente ridotti.

Il risparmio è stato calcolato in oltre 119.000,00 Euro l'anno e dall'inizio del programma nel 1996 ha superato quota 671.640,00 Euro!

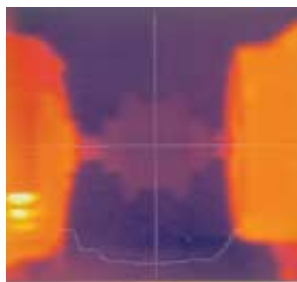
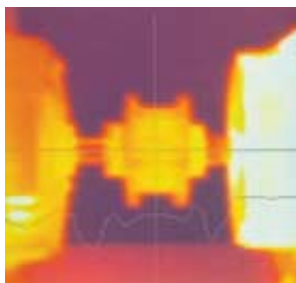
Simili risultati non piovono certo dal cielo. Per raggiungere simili obiettivi, i responsabili manutentivi hanno implementato un piano d'azione complessivo, con fattori chiave che comprendono:

- Coinvolgimento di operatori e supervisori
- Pazienza!
- Allineamento laser
- Condition monitoring
- Formazione
- Analisi delle cause di fondo
- Attenta selezione delle tenute meccaniche
- Attenta selezione dei cuscinetti
- Partnership con i fornitori
- Miglioramento della progettazione e dell'installazione delle tubazioni
- Attenta selezione delle pompe
- Selezione di sistemi di lubrificazione avanzati

L'allineamento laser amplia la durata di cuscinetti e tenute

L'ente americano *Infraspection Institute* ha condotto uno studio per valutare gli effetti del disallineamento su componenti chiave delle macchine come le tenute, i cuscinetti e i giunti.

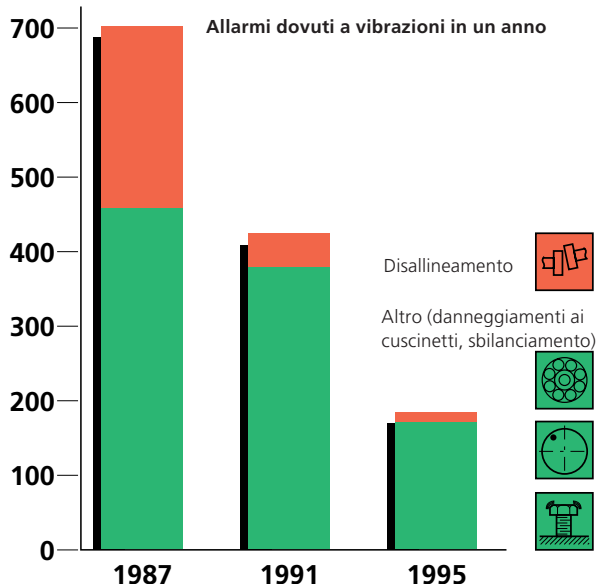
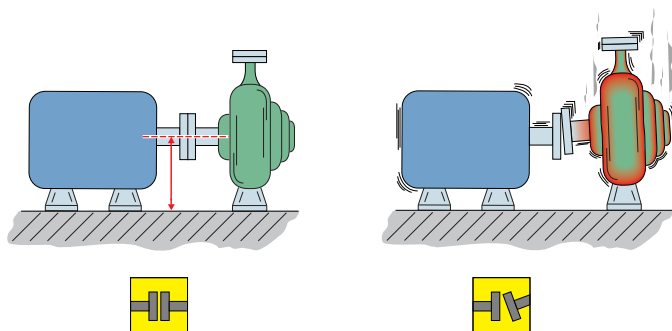
In una serie di prove si è proceduto a disallineare progressivamente un gruppo pompa/ motore. A ogni nuovo disallineamento venivano effettuate delle termografie a infrarossi per identificare l'aumento della temperatura indotto sui componenti chiave.

Le prove sono state effettuate con un'ampia gamma di giunti flessibili. Senza alcuna eccezione, tutti i giunti, i cuscinetti e il corpo pompa (e dunque le tenute) mostravano dei significativi aumenti di temperatura. Le termografie sottostanti mostrano l'effetto del disallineamento sui componenti con il gruppo disallineato dapprima di ± 0,05 mm, e poi di + 0,5 mm.

Allineato con ± 0,05 mm.

Disallineato di + 0,5 mm.

Questo studio ha dimostrato che l'elemento flessibile del giunto non è il solo a riscaldarsi. Anche le macchine sviluppano un aumento della temperatura, in particolare attorno agli alloggiamenti cuscinetti. Tenute e cuscinetti non sono progettati per funzionamenti prolungati alle alte temperature generate dal disallineamento e l'inevitabile conseguenza del funzionamento in queste condizioni è il malfunzionamento prematuro e la riduzione della durata operativa della macchina.

L'allineamento laser riduce gli allarmi dovuti a vibrazioni

Una grande raffineria petrolifera inglese decise di adottare dal 1987 al 2000 l'allineamento laser come standard per l'accoppiamento di tutte le macchine rotanti. Come sistema venne scelto dapprima OPTALIGN, per poi passare a ROTALIGN in una fase successiva. Una volta implementato il sistema laser, la raffineria decise di monitorare gli allarmi dovuti a vibrazioni eccessive paragonandoli con quelli del periodo precedente l'adozione dei due sistemi PRÜFTECHNIK. La ricerca mirava a stabilire se davvero i sistemi laser aiutano a ridurre gli allarmi per vibrazioni e a questo proposito gli allarmi sono stati suddivisi in due categorie: quelli creati da problemi di disallineamento e quelli generati da altri problemi, quali danneggiamenti ai cuscinetti, sbilanciamento e allentamenti meccanici.

Il grafico che riproduciamo grazie alla cortesia della società mostra chiaramente una sostanziale riduzione dei superamenti delle soglie d'allarme. Non solo: i problemi causati o collegati in qualche modo al disallineamento sono pressochè scomparsi!

Finora in questo manuale abbiamo considerato soprattutto l'allineamento a freddo delle macchine rotanti. Tuttavia per gruppi di macchine più grandi e per gruppi in cui almeno una macchina è soggetta ad alte temperature d'esercizio è necessario considerare anche gli effetti dell'espansione (o contrazione) termica nei calcoli di allineamento del gruppo. Difatti è inutile allineare perfettamente un gruppo a freddo se le condizioni d'allineamento cambieranno alle normali temperature d'esercizio. I metodi per accertare l'allineamento finale o l'allineamento alle condizioni d'esercizio sono molteplici:

- Tabelle dei costruttori delle macchine, che forniscono informazioni sul disallineamento termico.
- Calcoli basati sui coefficienti di dilatazione termica del materiale specifico per unità di lunghezza dell'asse dell'albero in relazione alla sua altezza, moltiplicato per grado di alterazione termica (vd. pag. successiva).
- Misurazione online dei cambiamenti indotti dalle condi zioni d'esercizio tramite l'impiego di strumenti di misu razione a contatto o non a contatto.

La stima o il calcolo dell'influenza effettivamente esercitata dai fattori termici sull'allineamento non è affatto un'operazione semplice. In macchine complesse come i compressori, in cui troviamo un certo numero di componenti che presentano ognuno un gradiente di temperatura diverso, anche i calcoli più semplici diventano molto complicati. In questi casi si rende solitamente necessaria la misurazione on-line dei diversi componenti della macchina.

In questi casi, sistemi laser come PERMALIGN di PRÜFTECHNIK rappresentano uno strumento ideale. Sistemi come PERMALIGN sono progettati per un funzionamento a lungo termine in condizioni difficili, dato che la stessa installazione del sistema su una turbina o un compressore che funzionano a temperature superiori a 300°C significa dover raffreddare la strumentazione per evitarne il danneggiamento e garantire la precisione delle letture sull'espansione o contrazione termica.

L'espansione o la contrazione termica non sono tuttavia le uniche cause dei cambiamenti di posizione delle macchine. Molti fattori possono mettere a repentaglio la precisione dei calcoli, tra cui:

- Espansione termica del supporto cuscinetti.
- Alterazioni delle forze radiali o assiali.
- Alterazione della pellicola di lubrificante dei cuscinetti.
- Alterazioni delle fondazioni, dei bulloni di ancoraggio e dei basamenti
- Alterazioni delle forze esercitate dalle tubazioni

Calcolo dell'espansione termica

Se la direzione e la portata dell'espansione termica sono conosciute, le macchine possono essere disallineate di proposito in modo che risultino allineate durante il normale funzionamento. smartALIGN®, OPTALIGN® PLUS e ROTALIGN® offrono una speciale funzione progettata appositamente per inserire questi valori target di allineamento. I costruttori delle macchine forniscono di solito dei valori di allineamento a freddo prontamente disponibili; in assenza di questi valori, i seguenti calcoli aiuteranno a stabilire il livello di espansione o contrazione termica.

DL = L (a) (DT)

In cui:

DL = Espansione termica
L = Altezza dell'asse dell'albero dalla base della macchina
a = Coefficiente d'espansione termica dei materiali (0,0000059 per la ghisa)
DT = Differenza di temperatura dalla temperatura ambiente

Esempio: Una pompa convoglia liquido a 300°F. Distanza tra albero e base: 26". Temperatura ambiente: 50°F

DL = L(a) (DT)
DL = 26" x (0,0000059) x (300 - 50)
= 26" x (0,0000059) x 250
= 0,38"

Alcuni sistemi avanzati di allineamento come ROTALIGN® PRO eseguono questi calcoli da soli.

PRUFTECHNIK è una società internazionale che progetta, produce e vende strumenti di misura e diagnosi nei settori dell’allineamento laser, condition monitoring e controlli non distruttivi.
Originariamente fondata nel 1972 a Monaco di Baviera da Dieter Busch, inizialmente la società si occupa di sistemi di controllo per cuscinetti e metalli. In breve tempo è stata progettata e sviluppata la prima linea di strumenti per il controllo non distruttivo tramite la tecnica Eddycurrent . Dopo pochi anni si è aggiunto il primo sistema di allineamento laser per alberi rotanti OPTALIGN. In pochi anni a questi due predecessori si sono aggiunti numerosi sistemi e strumenti sia di allineamento laser sia di controllo e misura delle vibrazioni e della bilanciatura dinamica. Tutti progettati tenendo conto della necessità di sistemi facili e semplici da utilizzare.

La sede di PRUFTECHNIK si trova in Germania, sono state fondate numerose filiali dirette in vari paesi, tra cui Inghilterra, Francia, Belgio, Olanda, Singapore, Italia, Polonia e Cina. In aggiunta è stata creata un’ampia rete commerciale e tecnica di distributori in oltre 60 paesi nel mondo.

In PRUFTECHNIK i clienti hanno da sempre giocato un ruolo importante per il continuo miglioramento di nostri prodotti , e anche grazie a loro il nostro reparto ricerca & sviluppo ha attualmente oltre 200 brevetti internazionali registrati e oltre 100 marchi di fabbrica depositati.

Tramite la propria rete di tecnici e distributori PRUFTECHNIK offre un’ampia gamma di prodotti e servizi , tra cui specifici corsi di formazione e consulenza, nonché service specializzato on site.

Una storia fatta di ricerca & sviluppo :

1976 Prodotto il primo sistema di controllo non distruttivo Eddycurrent per prodotti metallici semi-lavorati.
1977 Prodotto il primo sistema di controllo non distruttivo Eddycurrent utilizzante un microprocessore per l’analisi del segnale.
1980 EDDYTHERM il primo riscaldatore ad induzione per il montaggio di cuscinetti .
1981 Prodotto Il primo sistema computerizzato per l’allineamento utilizzante uno schermo LCD.

1982 Il primo riscaldatore ad induzione per cuscinetti di grosse dimensioni.
1983 OPTALIGN primo sistema di allineamento utilizzante sorgente laser.
1985 Primo sistema di controllo non distruttivo in costruzione coassiale.
1987 PERMALIGN primo sistema laser per il controllo continuo a bordo macchina.
1988 EDDYCHECK 3 primo sistema di controllo non distruttivo basato su computer ed in versione multifrequenza e multi-canale per il controllo dei difetti nei prodotti metallici semilavorati.
1989 SYSTEM 2 primo strumento multifunzionale con stazione di lavoro capace di cambiare funzione in base a diverse schede di programma.
1990 Primo sensore a 5 assi che valuta il raggio laser simultaneamente sui 5 assi di libertà e trasmette i dati tramite infrarosso.
1991 Primo sensore di vibrazione denominato "Tandem Piezo" per la misura di vibrazioni e shock pulse.
1992 Primo sistema per la diagnosi e misura delle macchine rotanti. Capace di allineare, effettuare analisi di vibrazione, bilanciamento in campo e diagnosi macchinari.
1992 XTECTOR primo sensore intelligente per la misura di vibrazione, diagnosi cuscinetto e cavitazione.
1992 CENTRALIGN primo sistema laser per determinare il centro asse di diaframmi e supporti turbina.
1993 VIBROTIP primo strumento multifunzione con 5 diverse funzioni,vibrazioni, diagnosi cuscinetti, cavitazione, numero di giri e temperatura.
1993 Prima sensore di vibrazione industriale, adatto a lavorare in severi ambienti industriali.
1994 EDDYCHECK Strumento di controllo con tecnica Eddycurrent a 4 canali realtime con schermo touch screen.
1994 ROTALIGN primo sistema di allineamento laser adatto a qualsiasi ambiente industriale con metodo di misura per acquisire i dati " sweep mode " brevettato.
1995 VIBCODE ha rivoluzionato il mondo della strumentazione portatile ! sistema di acquisizione ed identificazione automatica dei punti di misura.

1995 Sistema Eddy current per il controllo a caldo del filo metallico.
1996 VIBRONET primo per la misura continua delle vibrazioni tramite una rete di multiplexer e sensori utilizzanti la tecnologia "current line drive ".
1997 OPTALIGN PLUS strumento laser per l'allineamento dei macchinari con un'interfaccia utente estremamente semplice.
1998 VIBRONET con INTERMAC system; Primo sistema di telediagnosi in remoto tramite Internet, per il controllo e l'analisi di riduttori e cuscinetti .
1999 VIBROCORD nuovo data collector FFT adatto a qualsiasi ambiente industriale.
2000 VIBSCANNER primo data collector utilizzante un joystick multifunzione.
2000 EDDYCHECK 5 Sistema di controllo non distruttivo a 2 canali digitali con schermo tattile e adatto a connessioni di rete.
2002 SMARTALIGN primo sistema laser utilizzante un joystick multifunzione.

CONCLUSIONE

PRUFTECHNIK con la sua completa rete di tecnici e distributori è sempre a vostra disposizione per supportarvi e trovare con Voi nuove o già affidabili soluzioni nei seguenti settori:

- Sistemi di allineamento laser per macchine rotanti.
- Sistemi di allineamento laser per applicazioni geometriche in genere.
- Sistemi di condition monitoring , sia portatili sia fissi.
- Sistemi di sorveglianza macchine e diagnosi remota.
- Sistemi per il controllo non distruttivo.
- Formazione tecnica
- Service specializzato on site

Ringraziando Vi per aver dedicato il vostro alla lettura del presente manuale tecnico Vi informiamo che per qualsiasi vostro suggerimento ed, o semplicemente per ricevere ulteriori copie del presente manuale, non esitate a contattarci al seguente indirizzo :

info@pruftechnik.it

Prodotti e servizi

Allineamento alberi

pocketALIGN®
L'allineamento degli alberi in formato tascabile

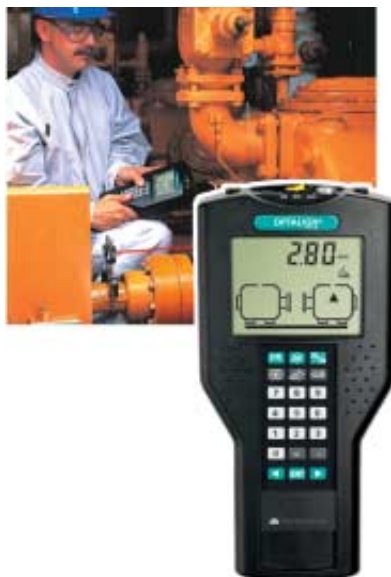
pocketALIGN® è un'applicazione d'allineamento laser che risparmia agli operatori l'arduo compito di utilizzare i comparatori. Questa comoda applicazione presenta un ottimo rapporto costo/ efficacia e funziona su PDA, rendendo l'allineamento laser degli alberi una procedura a portata di mano… nel vero senso della parola.

PULLALIGN®
Perfetto allineamento delle pulegge

PULLALIGN® assicura un funzionamento senza problemi delle vostre pulegge ed ingranaggi. Grazie al suo robusto involucro d'alluminio sabbiato, questo sistema d'allineamento laser è l'ideale per l'impiego in ambienti industriali e assicura ottimi risultati in pochi minuti.

Spessori pre-tagliati
Allineare le macchine risparmiando tempo

Gli spessori pre-tagliati ripagano subito il loro costo quando il tempo e la precisione dell'allineamento sono essenziali. La valigia di PERMABLOC® contiene un assortimento completo di spessori compatti, mentre la valigia di LAMIBLOC® (non mostrata) contiene spessori laminati che si riducono facilmente allo spessore desiderato.

La gamma OPTALIGN® PLUS
Personalità come standard

Questo sistema è stato appositamente concepito per quei clienti che cercano uno strumento d'allineamento laser adatto sia alle loro necessità che alle esigenze di budget. La gamma OPTALIGN® PLUS permette al cliente di progettare in proprio il sistema più indicato, acquisendo solo le caratteristiche che servono davvero e aggiungendo nuove capacità se le esigenze di lavoro crescono nel tempo.

smartALIGN®
L'allineamento degli alberi diventa intelligente

La semplicità di funzionamento è il principio progettuale di base di smartALIGN®. Pratico ed ergonomico, è dotato di joystick per un funzionamento davvero "smart" che porta un nuovo livello di semplicità nell'allineamento delle macchine rotanti. I suoi LED dai brillanti colori indicano le condizioni d'allineamento, mentre il firmware può essere aggiornato collegandosi via web al sito PRÜFTECHNIK.

ROTALIGN® Ultra
Ultramoderno e affidabile

La terza generazione di ROTALIGN® offre nuovi comfort, tra cui lo schermo a colori per una consultazione immediata anche alla luce solare e la tastiera alfanumerica illuminata. Le sue caratteristiche e il software chiaro e completo rendono l'allineamento laser un'operazione molto semplice anche per le applicazioni più complesse. Il computer di ROTALIGN® Ultra è inoltre dotato di un processore ad alte prestazioni per una grande rapidità di processo dati.

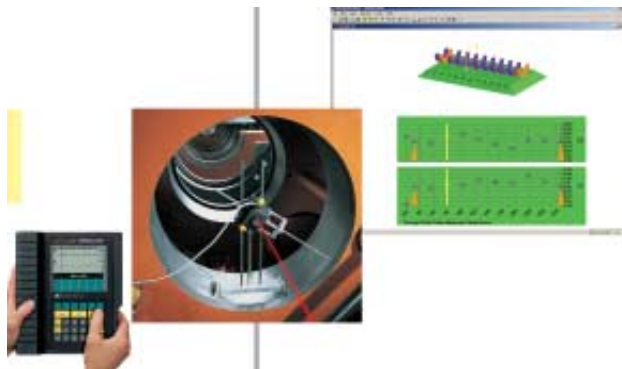
NOVALIGN®
Innovazione al lavoro

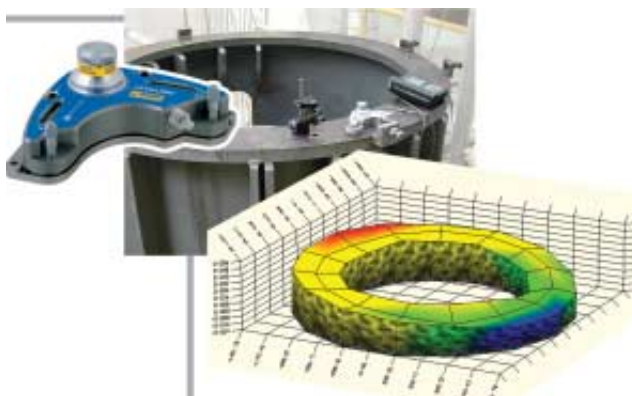
NOVALIGN® è un sistema modulare d'allineamento professionale che elimina il ricorso ai manuali d'esercizio. Questo sistema robusto e compatto è adatto a ogni tipo d'ambiente industriale e offre caratteristiche di ultima generazione come la comunicazione wireless e l'ampio schermo a colori che fornisce il quadro completo dell'allineamento.

Alignment Explorer
La piattaforma software per i prodotti d'allineamento

Il software per PC Alignment Explorer gestisce l'archiviazione dei dati d'allineamento tramite una struttura gerarchica comune a tutti i tipi di misurazione. Permette inoltre la comunicazione a due vie tra gli strumenti d'allineamento PRÜFTECHNIK e il PC.

Allineamento industriale

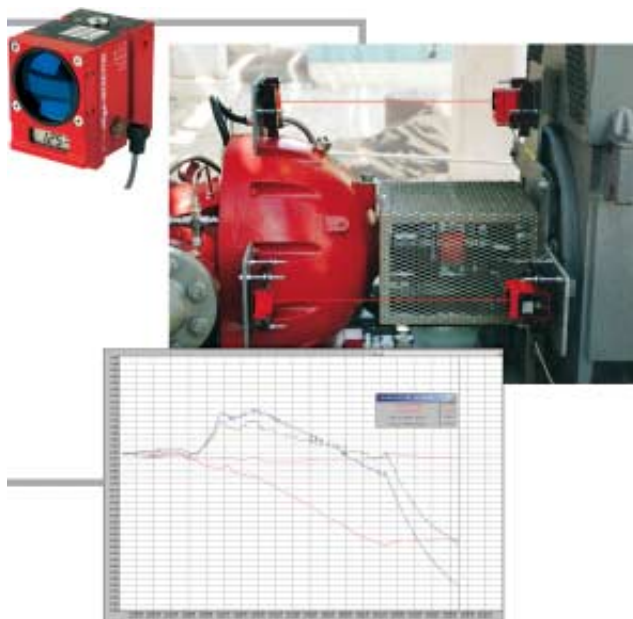
BORALIGN®
Misura l'allineamento dei fori e dei supporti cuscinetti

BORALIGN® è uno strumento portatile d'allineamento laser utilizzato per centrare fori, supporti cuscinetti e altri componenti circolari delle macchine. Tra le sue caratteristiche vi è anche una procedura di misurazione per allineare i pezzi in lavorazione alle teste dell'alesatrice.

LEVALIGN®
Determina la geometria superficiale

Il laser rotante LEVALIGN® rappresenta una soluzione efficace per misurare la planarità di qualunque superficie.

Basta posizionare la sonda su ogni punto e procedere alla misurazione premendo un tasto. Se viene usato con il potente software per PC LEVALIGN® Editor, il sistema può misurare anche superfici molto ampie.

CENTRALIGN®
Allineamento laser per sedi di cuscinetti e diaframmi di turbine

CENTRALIGN® allinea con rapidità e precisione i componenti concentrici come gli alloggiamenti cuscinetti, le tenute delle turbomacchine, i cuscinetti dei motori alternativi e i supporti camme dei compressori. Basta con noiosi pre-livellamenti e preparazioni ripetute, anche in caso di maxi componenti.

PERMALIGN®
Monitoraggio laser continuo dell'allineamento delle macchine

PERMALIGN® tiene accuratamente d'occhio l'allineamento dell'albero durante il funzionamento della macchina, avvisando l'operatore se i valori superano le tolleranze. Se viene usato con il suo software tendenziale per PC, questo sistema è l'ideale per determinare o verificare l'espansione termica e per osservare altri tipi di alterazioni nel tempo.

Servizi industriali

PRÜFTECHNIK Servizi per macchinari

Oltre ad offrire dei prodotti di alto livello per l'allineamento, PRUFTECHNIK fornisce anche una gamma di servizi di provata efficacia. I nostri esperti dedicati sono in grado di assistervi in situazioni speciali come il ricondizionamento di grandi macchine e progetti che richiedono allineamenti precisi su grande scala, come ad esempio la costruzione di una nuova turbina. I nostri servizi per macchinari industriali comprendono difatti l'allineamento degli alberi, l'allineamento geometrico, l'allineamento dei rulli e l'allineamento delle turbine.

Servizi di allineamento rulli

Rulli allineati con PARALIGN® Service

PARALIGN® Service aiuta a ridurre i tempi di arresto, prolunga la durata dei componenti e supporta la manutenzione preventiva nel settore cartario, laminati, microfibre, lavorazione del metallo e stampa. PARALIGN® Service viene offerto in tutto il mondo: visitate il nostro sito web per prezzi e condizioni.

Servizi di allineamento alberi

Allineamento professionale

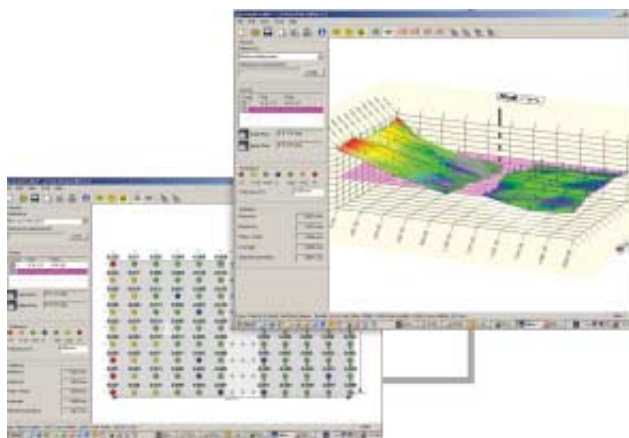
Offriamo anche servizi di allineamento alberi per supportare le vostre esigenze di manutenzione proattiva. I nostri esperti sono altamente specializzati soprattutto in applicazioni complesse come l'allineamento di molteplici treni di macchine e l'allineamento di macchine verticali, turbine e compressori. Offriamo inoltre il monitoraggio ,non a contatto, delle variazioni di posizione grazie al nostro sistema online PERMALIGN®.

Servizi di allineamento turbine

Allineamento laser di sedi cuscinetti e diaframmi di turbine

Utilizzando CENTRALIGN® siamo in grado di offrire la misurazione e l'allineamento completo delle turbine sia nel caso di nuove installazioni che di ricondizionamento. Le nostre squadre di specialisti hanno una grande esperienza di turbine a gas e a vapore.

Servizi di allineamento geometrico

Misura della geometria di macchine

Grazie ai nostri sistemi di allineamento professionale possiamo misurare la planarità di basamenti e fondazioni, piastre o tavole dei banchi delle macchine, flange rettangolari o circolari, semicorpi e sezioni circolari a rotazione rapida delle gru. I nostri sistemi determinano anche l'ortogonalità superficiale e la perpendicolarità delle colonne.

Riscaldamento ad induzione

EDDYTHERM®
Riscaldatori a induzione per gli accoppiamenti forzati a caldo

I riscaldatori EDDYTHERM® rappresentano la soluzione ideale per un riscaldamento rapido, accurato, sicuro ed efficiente con la perfetta smagnetizzazione di cuscinetti, giunti, trasmissioni e altri componenti accoppiati a caldo. L’ampia gamma di modelli permette di scegliere la capacità più indicata per componenti di quasi tutte le dimensioni.

Inoltre potete consultare il vostro partner di vendita e servizi anche per i seguenti argomenti e necessità:

- Consulenza e Diagnosi per le vostre necessità
- Soluzioni personalizzate per situazioni speciali
- Training specifico sui prodotti
- Ampliamenti per prodotti modulari
- Aggiornamenti software
- Servizio post-vendita
- Ricambi, riparazioni e manutenzione dei prodotti
- Seminari sulla manutenzione proattiva